



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

ASISTENČNÍ SYSTÉMY V ŘÍZENÍ AUT A LETADEL

ASSISTANT SYSTEMS IN CAR AND AIRCRAFT CONTROL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Timotej Novotný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Zikmund, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Timotej Novotný**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Zikmund, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Asistenční systémy v řízení aut a letadel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Asistenční systémy snižují pracovní zatížení řidiče/pilota a zvyšují komfort a bezpečnost při řízení a pilotáži. V oblasti automobilismu se tyto systémy rozvíjí rychleji než v letectví, což je dáno přísnějšími požadavky na bezpečnost a náročnou certifikaci letadel. Tato práce by měla srovnat asistenční prvky v obou oblastech a určit trend, kterým by se mohly systémy vyvíjet v následujících letech v letectví. Oblast letectví v této práci bude zaměřena na letadla kategorie General aviation.

Cíle bakalářské práce:

- Rešerše asistenčních systémů používaných v automobilismu a letectví
- Srovnání výsledků mezi těmito oblastmi
- Odhad trendu ve vývoji asistenčních prvků v letectví

Seznam doporučené literatury:

BENGLER, K. et al. Three decades of driver assistance systems: Review and future perspectives. IEEE Intelligent transportation systems magazine, 2014, 6.4: 6-22.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Bakalárska práca pojednáva o asistenčných systémoch v riadení áut a lietadiel. Oblasť letectva je zameraná na lietadlá kategórie GA. V práci sú popísané asistenčné systémy používané v automobiloch a lietadlách, ich prínos do bezpečnosti dopravy a limity jednotlivých systémov. Porovnaním asistenčných systémov v automobilizme a letectve je ukázaný rozdiel v rýchlosti vývoja systémov v jednotlivých oblastiach, čo je dané hlavne prísnyimi požiadavkami kladenými na bezpečnosť a spoľahlivosť systémov v letectve. Ďalej je v práci spomenutý rozdiel implementovania systémov monitorujúcich stav vodiča/pilota. Napriek tomu, že práca pilota je náročnejšia ako práca vodiča, v dnešných lietadlách ešte neexistuje systém na monitorovanie stavu pilota alebo systém automatického núdzového pristátia. Časť práce, týkajúca sa budúcnosti asistenčných systémov v letectve je preto venovaná systému, ktorý monitoruje mentálny stav pilota a systému automatického pristátia. Oba systémy sú stále vo fáze vývoja. Doterajšie experimenty ale ukazujú, že by sa tieto systémy mohli u lietadiel v budúcnosti objaviť a prispieť tak k zvýšeniu bezpečnosti v letectve. V poslednej časti je spomenutá budúcnosť asistenčných systémov, ktoré vytvárajú cestu k autonómnemu riadeniu vozidiel.

Kľúčové slová

Asistenčné systémy, bezpečnosť, kritická situácia, automobil, lietadlo, GA

Abstract

The bachelor thesis deals with assistance systems in cars and aircraft. The aviation sector is focused on GA aircraft. This thesis describes assistance systems used in cars and aircraft, their contribution to traffic safety and limitations of these systems. The comparison of assisting systems in the automotive and aviation industries shows the difference in the speed of development in individual areas, which is caused mainly due to strict requirements for safety and reliability of aviation systems. Furthermore, we can see the difference in implementation of systems monitoring the condition of a driver/pilot. Although the work of a pilot is more demanding than the work of a driver, today's aircraft do not have a system for monitoring the condition of a pilot or an emergency landing system. Part of the thesis concerning future assistance systems in aviation is devoted to the system monitoring the pilot's condition and the automatic landing system. Both systems are still under development. However, experiments have shown that these systems could be implemented in future aircraft and increase aviation safety. The last part of the thesis mentions the future of assistance systems, which create a path to autonomous vehicles.

Key words

Assistance systems, safety, critical situation, automobile, aircraft, GA

Bibliografická citácia

NOVOTNÝ, Timotej. *Asistenční systémy v řízení aut a letadel*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132207>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Pavel Zikmund.

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením Ing. Pavla Zikmunda, Ph.D., s použitím odbornej literatúry a zdrojov uvedených v priloženom zozname.

V Brně dňa: _____

Timotej Novotný

Pod'akovanie

Ďakujem môjmu školiteľovi Ing. Pavlovi Zikmundovi, Ph.D. za užitočné pripomienky, ochotu a usmernenie pri písaní bakalárskej práce. Taktiež ďakujem mojej rodine a priateľke za ich podporu počas celého štúdia.

Obsah

Úvod	10
1 Asistenčné systémy v automobiloch	11
1.1 Bezpečnosť automobilov.....	11
1.1.1 Pasívna bezpečnosť automobilov	11
1.1.2 Aktívna bezpečnosť automobilov	11
1.2 Senzory asistenčných systémov	12
1.3 Protiblokovací systém ABS	14
1.4 Protišmykový systém ASR	15
1.5 Elektronický stabilizačný systém ESP	16
1.6 Brzdový asistenčný systém BAS	17
1.7 Parkovací asistent PAS	19
1.8 Adaptívny tempomat ACC	21
1.9 Varovanie pred vybočením z jazdného pruhu LDW	22
1.10 Systém udržiavania v jazdnom pruhu LKA	23
1.11 Systém rozpoznania únavy vodiča	23
1.12 Navigačný systém GPS	24
1.13 Head-Up displej HUD	25
1.14 Systém varovania pred zrážkou FCWS	26
2 Asistenčné systémy v lietadlách	27
2.1 Bezpečnosť leteckej dopravy	27
2.1.1 Pasívna bezpečnosť lietadiel	28
2.1.2 Aktívna bezpečnosť lietadiel	28
2.2 Všeobecné letectvo	29
2.3 Systém automatického riadenie letu	29
2.4 Varovné a informačné systémy	31
2.4.1 Systém varovania pred blízkosťou terénu TAWS	31
2.4.2 Protizrážkový systém TCAS	33
2.4.3 Systém monitorujúci počasie	34
2.4.4 Systém varovania pred pádom	35

3 Porovnanie asistenčných systémov v jednotlivých oblastiach	37
4 Budúcnosť asistenčných systémov	39
4.1 Budúcnosť asistenčných systémov v letectve	39
4.1.1 Monitorovanie mentálnej záťaže pilota	39
4.1.2 Systém automatického pristávania	40
4.2 Autonómne riadenie	41
4.2.1 Autonómne vozidlá	41
4.2.2 Urban air mobility UAM	42
Záver	44
Zoznam použitých zdrojov	45
Zoznam použitých skratiek a symbolov	49

Úvod

Asistenčné systémy sú dnes už bežnou súčasťou automobilov a lietadiel. Ich úlohou je zvýšiť bezpečnosť a znížiť zaťaženie pilota a vodiča. Cieľom práce je predstaviť asistenčné systémy v automobiloch a lietadlách, porovnať ich a odhadnúť trend vo vývoji asistenčných systémov v letectve.

Táto práca je rozdelená do štyroch hlavných častí. Prvá časť je zameraná na asistenčné systémy automobilov, bezpečnosť automobilov a senzory asistenčných systémov v automobiloch. Ďalšie podkapitoly sú venované jednotlivým asistenčným systémom, ktoré sa nachádzajú v súčasných vozidlách.

Druhá časť je venovaná asistenčným systémom lietadiel, bezpečnosti leteckej dopravy a informáciám o systémoch používaných v lietadlách všeobecného letectva.

V tretej časti si porovnáme asistenčné systémy automobilov a lietadiel. Vďaka tomu budeme vedieť posúdiť, ktoré asistenčné systémy v automobiloch by sa do budúcnosti mohli použiť aj v lietadlách. Poukážeme tiež na rýchlosť vývoja asistenčných systémov v jednotlivých oblastiach, ktorá je daná najmä prísnyimi bezpečnostnými požiadavkami na letecké systémy.

Štvrtá časť práce pojednáva o budúcnosti asistenčných systémov v lietadlách, kde sa môžeme inšpirovať systémami, ktoré už poznáme v automobiloch. Spomenieme aj budúcnosť asistenčných systémov, ktorá vedie k autonómnej doprave. Dotkneme sa tiež konceptov autonómnych vozidiel a mestskej leteckej dopravy.

Túto prácu som si vybral, aby som verejnosti priblížil, aké asistenčné systémy sa nachádzajú v dnešných automobiloch a lietadlách a poukázal na možný vývoj leteckých systémov inšpirovaný systémami, ktoré už poznáme v automobiloch. Zároveň chcem dať do povšimnutia, že i keď je budúcnosť autonómnej dopravy pred nami, stále treba brať na vedomie fakt, že človek bude vždy najdôležitejším článkom aj v tejto oblasti. Či už pri vývoji asistenčných systémov, alebo pri ich používaní. Aby asistenčné systémy splňali svoj účel vo zvyšovaní bezpečnosti a komfortu, je potrebné poznať ich funkcie a limity.

1 Asistenčné systémy v automobiloch

1.1 Bezpečnosť automobilov

Pri vývoji automobilov sa kladie dôraz na to, aby automobily vyhovovali požiadavkám na bezpečnosť. Tieto požiadavky sú predpísané platnou legislatívou a tiež sú dané nárokmi zákazníkov. Od počiatku cestných vozidiel bola jednou z najväčších obáv bezpečnosť automobilu. Mnohí výrobcovia automobilov sa neustále zaoberajú výskumom rôznych bezpečnostných systémov s cieľom minimalizovať pravdepodobnosť nehody, a pokiaľ k nej už dôjde, zabezpečiť ochranu cestujúcich vo vozidle či predísť ohrozeniu a zraneniu osôb mimo vozidla. Tieto systémy môžeme rozdeliť do dvoch základných skupín: [1]

- prvky pasívnej bezpečnosti
- prvky aktívnej bezpečnosti

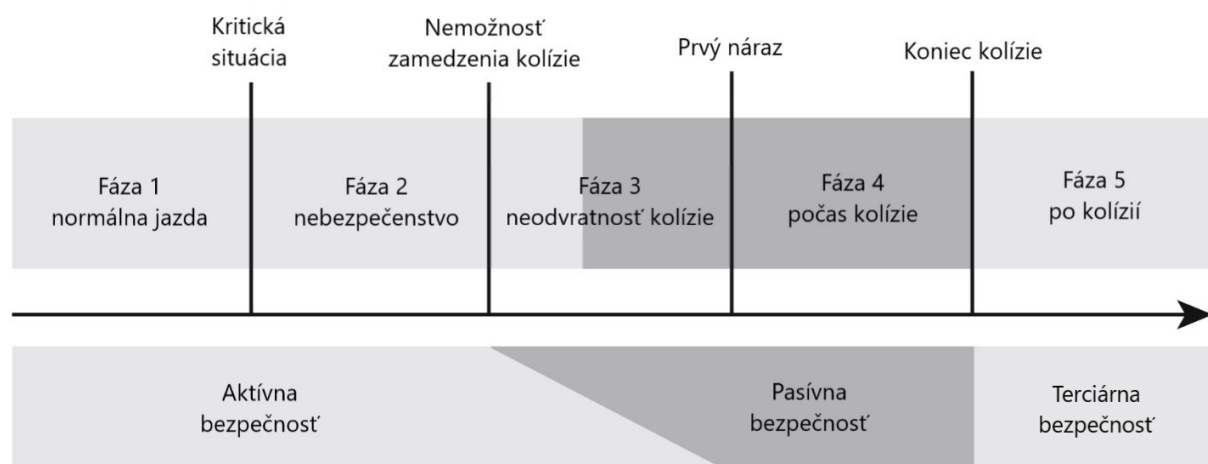
1.1.1 Pasívna bezpečnosť automobilov

Prvky pasívnej bezpečnosti chránia cestujúcich vo vozidle počas samotnej kolízie a znižujú tak závažnosť následkov nehody. Medzi prvky pasívnej bezpečnosti patria napríklad:

- airbagy
- bezpečnostné pásy
- konštrukcia kabíny – vytvorenie zón s postupnou deformáciou a schopnosťou absorbovať energiu vyvolanú nárazom
- polstrované palubné dosky
- aktívne opierky hlavy.

1.1.2 Aktívna bezpečnosť automobilov

Za prvky aktívnej bezpečnosti považujeme také systémy, ktoré svojou činnosťou pomáhajú zabrániť dopravnej nehode. To znamená, že znižujú pravdepodobnosť nehody a zlepšujú možnosti vodiča na včasné rozpoznanie kolíznej situácie alebo sa snažia autonómne kolíznej situácii zabrániť. Tieto systémy nazývame ako asistenčné systémy vodiča (anglicky „Driver Assistance Systems“ – DAS). [2]



Obr. 1 Fázy nehody a význam aktívnej, pasívnej a terciárnej bezpečnosti.[3]

Na obr. 1 vidíme, že aktívna bezpečnosť s prvkami asistenčných systémov je relevantná vo fázach pred kolíziou (1 až 3), ale po prvom náraze už nie. V závislosti od toho, ako systémy nadobudnú účinnosť, môžu byť schopné zabrániť vzniku kritickej situácie. Ak už ku kolízii dôjde, tak vidíme, že hlavnú úlohu pri ochrane pasažierov tvoria prvky pasívnej bezpečnosti. Fáza terciárnych bezpečnostných opatrení po zrážke zahŕňa všetky záchranné opatrenia, ako napríklad tiesňové volanie. [3]

Existujú rôzne typy asistenčných systémov, z ktorých každý poskytuje inú funkciu. Niektoré systémy majú zásadný vplyv na bezpečnosť. Sú to systémy súvisiace so stabilizáciou vozidla. Umožňujú najlepším možným spôsobom riadiť vozidlo po trajektórii zvolenej vodičom:

- protiblokovací systém
- elektronický stabilizačný systém
- protišmykový systém
- brzdový asistenčný systém.

Medzi novodobé prvky aktívnej bezpečnosti možno zaradiť systémy, ktoré majú okrem bezpečnostnej funkcie aj informatívnu a varovnú funkciu, spríjemňujú zážitok z jazdy, prispievajú k pohodliu vodiča a znižujú jeho pracovnú záťaž. Sú to napríklad:

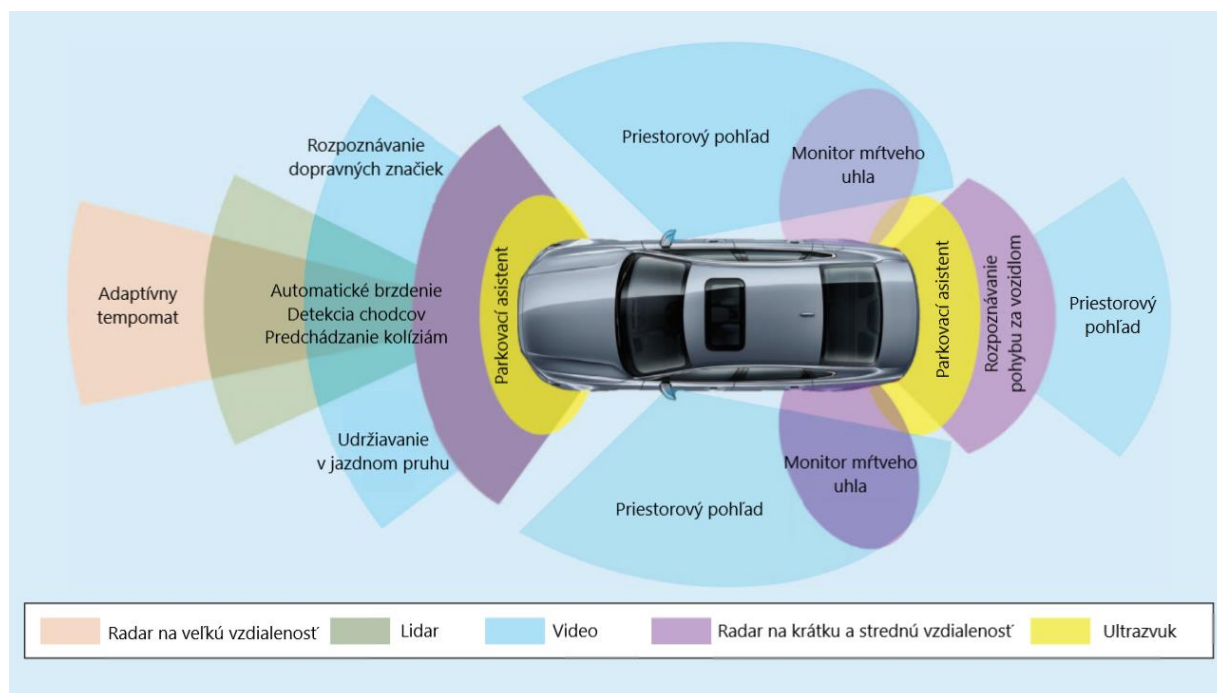
- parkovací asistent
- adaptívny tempomat
- udržiavanie v jazdnom pruhu
- rozpoznávanie únavy vodiča
- sledovanie slepého uhlu
- varovanie vodiča pred zrážkou s inými účastníkmi cestnej premávky
- navigačný systém
- adaptívne svetlomety.

1.2 Senzory asistenčných systémov

Všetky asistenčné systémy vozidla dostávajú informácie pomocou senzorov. Tieto senzory môžu byť: [4]

- proprioceptívne – senzory merajúce vnútorný stav vozidla (rýchlosť kolies, zrýchlenie, uhol natočenia volantu,...).
- exeroceptívne – tieto senzory získavajú informácie z vonkajšieho prostredia okolo vozidla:
 - ultrazvukový senzor
 - video
 - radar
 - lidar
 - do istej miery sem patrí aj globálny navigačný systém (GPS), ktorý poskytuje vodičovi informácie o polohe vozidla, aktuálnej dopravnej situácii a naviguje ho do predom zvoleného cieľa. [4]

Na obrázku 2 môžeme vidieť, aké senzory sa používajú pre konkrétne asistenčné systémy a akú časť okolia vozidla snímajú.



Obr. 2 Senzory, ich dosah a použitie pri asistenčných systémoch. [2]

Vzhľadom na rastúce požiadavky kladené na bezpečnosť automobilov je výskum v tejto oblasti stále intenzívnejší a objavujú sa nové inovatívne riešenia. Bežné automobily nie sú vybavované všetkými známymi prvkami bezpečnosti, ktoré sú dostupné na trhu z dôvodu ich vysokej finančnej náročnosti. Výrobcovia zvyčajne dávajú najnovšie bezpečnostné prvky do najvyšších tried nimi vyrábaných vozidiel, ale postupom času sa tieto prvky stávajú bežnou výbavou aj nižších tried automobilov. [1]

V nasledujúcich kapitolách si predstavíme a charakterizujeme základné asistenčné systémy, ktoré sa nachádzajú v dnešných automobiloch.

1.3 Protiblokovací systém ABS

Protiblokovací systém ABS (anglicky Anti-lock Braking System) je jeden z prvých aktívnych asistenčných systémov. Jeho sériová výroba začala v roku 1978 firmou Bosch. [4]

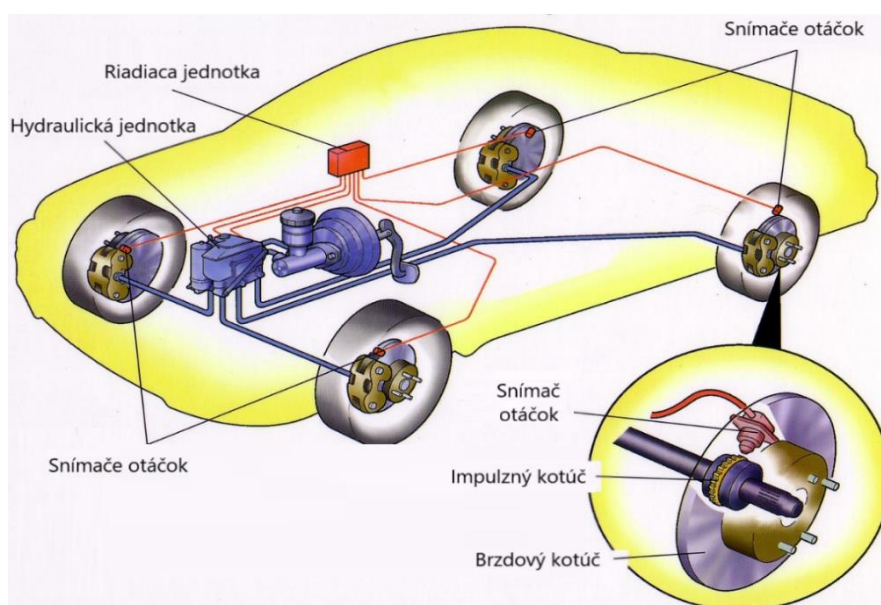
Brzdový systém je jedným z najdôležitejších systémov vo vozidle. Brzdy sú ovládané mechanicky, hydraulicky alebo pneumaticky, stlačeným vzduchom. V automobiloch sa nachádzajú minimálne dva nezávislé brzdové systémy. Úlohou bŕzd je znížiť kinetickú energiu vozidla, k čomu dochádza trením brzdových segmentov o oceľový kotúč alebo bubon. Bezpečné zastavenie či spomalenie vozidla v krízových situáciách môže viesť k záchrane posádky automobilu a zabrániť dopravnej nehode. [5]

Základnou úlohou protiblokovacieho systému je, aby sa pri brzdení koleso úplne nezablokovalo a nestratilo tak schopnosť odvažovať sa po vozovke, vďaka čomu má vodič kontrolu nad vozidlom a môže vykonať úhybný manéver. Medzi funkčné časti systému ABS patria:

- elektronická riadiaca jednotka
- snímače otáčok kolies
- hydraulická jednotka.

Elektronická riadiaca jednotka spracúva údaje zo snímačov otáčok na jednotlivých kolesách. Keď vodič náhle zošliapne brzdový pedál, snímače zaznamenajú prudký pokles otáčok kolies a následne riadiaca jednotka vydá príkaz hydraulickej jednotke. Tá reguluje brzdnu silu pôsobiacu na jednotlivé kolesá vozidla tak, aby nedošlo k ich zablokovaniu. To sa deje na základe zvyšovania a znižovania tlaku v brzdovej sústave s frekvenciou 12 až 16-krát za sekundu. Vďaka tomu sa koleso začne po vozovke odvažovať a nie šmýkať, čím ostáva ovládateľné, stabilné a jeho brzdná dráha sa zníži na minimum. [5]

Protiblokovací systém sa neaktivuje, kým nie je na brzdy aplikovaná dostatočne veľká sila. Aj keď systém pracuje neustále, neovplyvňuje brzdenie za bežných podmienok. Dôležité tiež je, že keď aj ABS akýmkoľvek spôsobom zlyhá, brzdy naďalej fungujú. Ak sa vyskytne problém v protiblokovacom systéme, vodič je o tom informovaný rozsvietenou kontrolkou na palubnej doske.



Obr. 3 Protiblokovací systém ABS v automobile [6]

1.4 Protišmykový systém ASR

Protišmykový systém ASR (anglicky Anti-Slip Regulation) je rozšírením systému ABS. Jeho úlohou je zabrániť prešmyku kolies a zaistiť tak ovládateľnosť vozidla pri akcelerácií. Okrem toho, že systém ASR zabráňuje prešmyku poháňajúcemu kolesu, má aj nasledujúce výhody: [7]

- zabezpečuje stabilné jazdné vlastnosti pri rozjazde, zrýchľovaní a prejazde vozidla na klzkých vozovkách
- upozorňuje vodiča na klzké vlastnosti vozovky
- znižuje opotrebovanie pneumatík
- chráni pohonné ústrojenstvo vozidla
- znižuje riziko nehody.

Snímače aj riadiaca jednotka protišmykového systému sú spoločné so systémom ABS (obr.4). Snímače neustále sledujú otáčky kolies poháňanej nápravy a porovnávajú ich s otáčkami na kolesách nepoháňanej nápravy. Vodič pri zrýchlení zvyšuje točivý moment motora a tým sa zvyšuje aj hnací moment na kolesách vozidla. Ak na základe informácií zo senzorov riadiaca jednotka vyhodnotí, že dochádza k prešmykovaniu hnacieho kolesa, vydá pokyn na pribrzdzenie kolesa. Regulácia hnacieho momentu na kolesách vozidla prebieha prostredníctvom: [8] [9]

- obmedzovania množstva vstrekaného paliva
- riadením polohy škrtiacej klapky
- zmenou okamihov zapalovania (potlačanie jednotlivých zapalovacích impulzov)
- brzdného tlaku (pribrzdžovanie prešmykujúceho kolesa).

Regulácia hnacieho momentu pomocou brzdného tlaku vyžaduje použitie hydrauliky ABS. Výhodou tohto spôsobu regulácie je individuálne ovplyvňovanie prešmyku jednotlivých kolies. [9]



Obr. 4 Snímač otáčok kolesa [7]

1.5 Elektronický stabilizačný systém ESP

Elektronický stabilizačný systém ESP (anglicky Electronic Stability Program) je systém regulácie dynamiky jazdy. Tento systém prišiel na trh v roku 1995. Vyvinula ho firma Bosch v spolupráci s firmou Mercedes-Benz. [4]

Systémy ABS a ASR umožňujú regulovať šmyk alebo preklznutie pneumatiky, ale len v pozdĺžnom smere vozidla. Za reguláciu šmyku pneumatiky v priečnom smere zodpovedá systém ESP, ktorý je určitým rozšírením týchto dvoch systémov. Pre vodiča je riadenie vozidla v kritických situáciách, kedy vozidlo prekročí určité hraničné oblasti, len veľmi ťažko ovládateľné. Za takýchto okolností vodičovi pomáha zvládnuť situáciu práve elektronický stabilizačný systém. Dobré vedenie vozidla závisí od toho, ako presne vozidlo sleduje jazdnú stopu danú uhlom natočenia volantu a či vozidlo zostáva stabilné a nevybočuje zo smeru jazdy. Na zlepšenie jazdných vlastností vozidla a jeho ovládateľnosti v kritických situáciách systém ESP zasahuje do brzdovej sústavy, ako aj do hnacieho ústrojenstva vozidla. Použitím ABS sa kolesá pri brzdení nezablokujú a použitím ASR nedôjde k ich preklznutiu. ESP ako úplný systém okrem toho zaručuje, že vozidlo pri jazde nevybočí do strany a v prípade, že dôjde k šmyku, aktívnym zásahom pomáha vodičovi udržať kontrolu nad vozidlom. [9] [10]

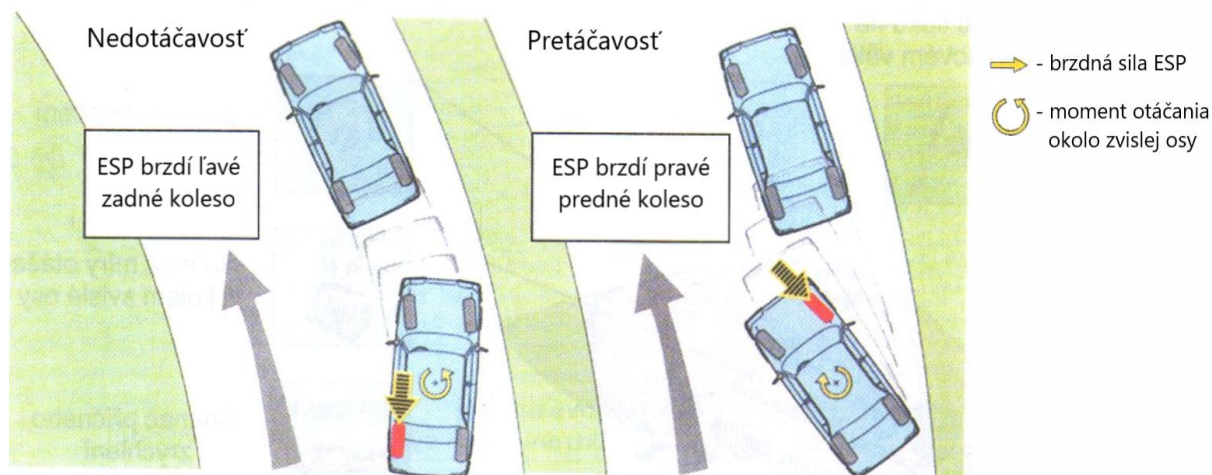
ESP zlepšuje bezpečnosť jazdy v nasledujúcich okolnostiach: [9]

- aktívne podporuje vodiča v kritických situáciách, kedy na vozidlo pôsobia bočné sily
- zvyšuje stabilitu jazdy vo všetkých jazdných stavoch
- spolu s činnosťou systémov ABS a ASR znižuje nebezpečenstvo šmyku alebo straty priľnavosti pneumatík k povrchu vozovky, optimalizuje brzdnu dráhu a ešte viac zvyšuje ovládateľnosť vozidla.

ESP sa skladá z hydraulického agregátu a riadiacej jednotky vybavenej senzormi, ktoré snímajú a vyhodnocujú jazdnú situáciu. U systému ESP sa okrem snímačov používaných u systémov ABS a ASR objavujú aj ďalšie snímače: [9] [10]

- snímač uhlu natočenia volantu
- snímač miery otáčania a rýchlosti otáčania okolo zvislej osi
- snímač priečneho zrýchlenia
- snímač tlaku brzdovej kvapaliny.

Príliš veľký priečny sklz pneumatiky vedie k vybočeniu vozidla do strany. Keď sa vozidlo dostane do šmyku, je potrebné ho stabilizovať. To sa deje cieľným brzdením, znížením točivého momentu motora a korekciou volantu. Túto stabilizáciu vykonáva systém ESP bez zásahu vodiča. Súčasne ale systém sleduje, ako na kritickú situáciu reaguje vodič. Mikroprocesor riadiacej jednotky behom pár milisekúnd určí, ako silno a o koľko treba znížiť hnací moment motora, a ktoré koleso je potrebné pribrzdiť na to, aby sa vozidlo stabilizovalo. Ak systém zistí prostredníctvom snímačov priečne dynamicky kritický stav vozidla, dochádza k pribrzdeniu príslušných kolies, čím sa vytvorí moment okolo zvislej osi vozidla, ktorý kompenzuje nežiaducu nedotáčavosť, popri prípade pretáčavosti vozidla. U nedotáčavého šmyku, ktorý sa prejaví „neochotou“ vozidla zabočiť, sa korekcia uskutoční pribrzdením kolies na vnútornej strane zákruty. Väčšia časť brzdnej sily pritom pôsobí na vnútornom zadnom kolese. Pri vybočení zadnej časti vozidla pri pretáčavom šmyku sú pribrzdené kolesá na vonkajšej strane zákruty a najväčšia brzdna sila pôsobí na predné vonkajšie koleso (obr.5). [9] [10] [11]

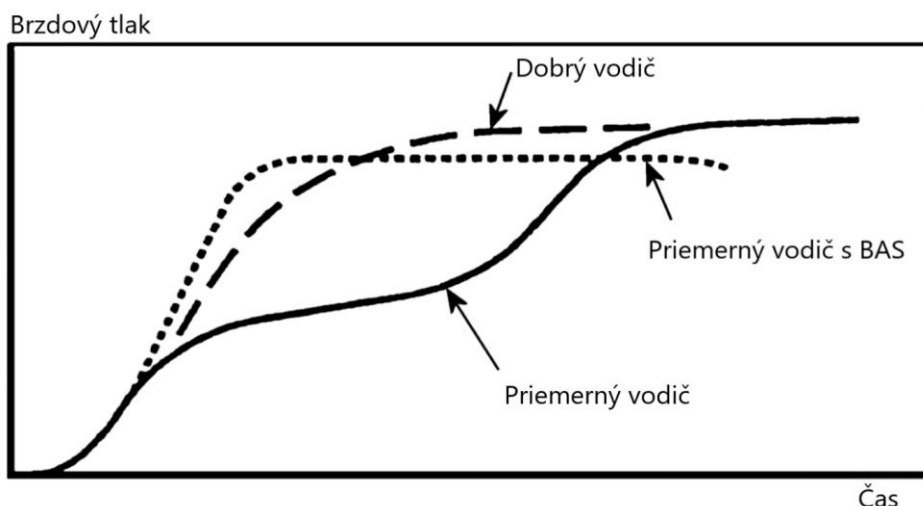


Obr. 5 Regulácia vybočenia vozidla pomocou systému ESP [10]

Vďaka implementovaniu systémov regulácie dynamiky jazdy sa znížila frekvencia výskytu nehôd súvisiacich so stratou kontroly nad vozidlom. ESP zasahuje hlavne na mokrej alebo šmykľavej vozovke pri prudkom vyhýbaní sa prekážkam na ceste a pri veľmi rýchlom nájazde do zákruty. Až 80% všetkých nehôd spôsobených šmykom je možné zabrániť vďaka elektronickému stabilizačnému programu. Systém ESP je od novembra 2014 povinnou súčasťou každého nového automobilu predaného v Európskej únii (EU). Na trhu je už vyše 25 rokov a za ten čas len v EU, podľa výpočtov výskumu nehôd spoločnosti Bosch, zachránil životy asi 15 000 osobám a zabránil takmer pol miliónu nehôd. Okrem airbagu a bezpečnostného pásu je ESP jeden z najdôležitejších bezpečnostných prvkov vo vozidle. Na svete je dnes 82% všetkých nových vozidiel vybavených týmto systémom, pričom v roku 2017 to bolo 64%. [12]

1.6 Brzdový asistenčný systém BAS

Vyšetrenie v jazdnom simulátore firmy Mercedes-Benz ukázalo, že bežní vodiči automobilov síce stlačia brzdový pedál v kritických situáciách dostatočne skoro, ale nie dosť intenzívne. To má za následok predĺženie brzdnéj dráhy. Priemerný vodič je síce schopný aplikovať na brzdový pedál dostatočne veľkú silu, ale to sa často deje až po určitom oneskorení (obr.6). Toto oneskorenie má veľký vplyv na brzdnú dráhu vozidla, pretože počas celej doby brzdienia je rýchlosť vozidla najväčšia práve na začiatku brzdienia. Brzdový asistenčný systém BAS (anglicky Brake Assistant System) potláča toto oneskorenie, a tým výrazne skracuje brzdnú dráhu vozidla. Kľúčovou úlohou BAS je zistenie núdzového stavu a okamžité zvýšenie brzdného tlaku na všetkých kolesách nad rámec tlaku vyvolaného vodičom, až pokiaľ nezasiahne systém ABS. [3]



Obr. 6 Podpora vodiča na začiatku brzdzenia brzdovým asistenčným systémom [3]

Najdôležitejšie požiadavky kladené na BAS sú:[3]

- podpora vodiča v situáciách núdzového brzdzenia a skrátenie brzdnnej dráhy na takú vzdialenosť, ktorú zvyčajne môžu dosiahnuť len skúsení vodiči
- čo najskôr prerušiť plné brzdzenie potom, ako vodič výrazne zníži silu na pedáli
- aktivovať funkciu plného brzdzenia len v reálnych núdzových situáciách a nezasahovať do bežných situácií, kedy sa nejedná o krízové brzdzenie
- ak zlyhá BAS, nesmie nijak poškodiť konvenčnú funkciu brzd.

Brzdový asistenčný systém BAS využíva k zvýšeniu brzdného tlaku hydraulickú jednotku systému ESP. Okrem toho využíva aj snímač tlaku brzdovej kvapaliny, čím analyzuje, ako vodič používa brzdový pedál. Zistenie núdzového stavu je založené na hodnote tlaku kvapaliny v brzdovom systéme a rýchlosti nárastu tohto tlaku. BAS sa dá jednoducho prispôbiť vlastnostiam vozidla a brzdového systému na základe výberu určitých limitných hodnôt brzdného tlaku a rýchlosti jeho nárastu. Na to, aby bol tento systém aktívny je tiež potrebné, aby vozidlo prekročilo istú minimálnu rýchlosť. V momente, kedy sú tieto podmienky splnené, BAS zvýši tlak v brzdovom systéme nad úroveň vyvolanú vodičom a to až dovtedy, kým sa neaktivuje systém ABS, ktorý následne reguluje túto brzdnú silu. Brzdový asistent je vypnutý v momente, keď brzdový tlak klesne pod limitnú hodnotu deaktivácie. Vodič potom pokračuje v brzdení bez dodatočnej podpory brzdového asistenčného systému.

Ak sa v prípade BAS použijú aj senzory na snímanie okolia vozidla, kritická situácia sa môže zistiť vopred a systém sa automaticky aktivuje aj bez toho, aby vodič použil brzdový pedál. Tým sa spomalenie vozidla spustí skôr, čo vedie k ešte výraznejšiemu skráteniu brzdnnej dráhy. Takáto funkcia sa nazýva tiež prediktívny brzdový asistent PBA (anglicky Predictive Brake Assist). Prediktívne brzdiace systémy sa používajú najmä v mestskom prostredí, kde ich poznáme pod anglickým názvom *City Safety* alebo *City Stop*. Chodci a cyklisti sú najzraniteľnejšími účastníkmi cestnej premávky. Ich správanie sa v mestskej premávke je pre vodiča len veľmi ťažko predvídateľné. Prediktívne brzdové systémy ich pomocou video a radarových senzorov dokážu detekovať a v prípade bezprostrednej kolízie automaticky zastaviť vozidlo, aby sa predišlo nehode alebo aspoň znížila závažnosť nehody. Novodobé systémy automatického brzdzenia sú schopné spustiť automatické núdzové brzdzenie pri rýchlosti až do 60 km/h.

1.7 Parkovací asistent PAS

Parkovací asistenčný systém (anglicky Parking Assistant System) prišiel na trh v deväťdesiatych rokoch dvadsiateho storočia. Aj keď v deväťdesiatych rokoch sa systémy podporujúce proces parkovania nepovažovali za potrebné, dnes sú už štandardnou súčasťou automobilov a záujem vodičov o tieto systémy stále rastie. [2]

Druhy parkovacích systémov: [3]

- varovné parkovacie systémy
- parkovacie systémy navigujúce vodiča
- poloautomatické parkovacie systémy (obr.7)
- automatické parkovacie systémy.

V závislosti od konfigurácie systému existujú rôzne požiadavky na snímanie prostredia a spracovanie signálu. V prvom rade musí byť systém užívateľsky prívetivý a vodičovi by mal podávať také informácie, ktoré sú relevantné, nezavádzajú a slúžia podporne pre vodiča. Pri spracovaní signálu od snímačov musí byť reakčný čas v rozsahu len niekoľkých milisekúnd. Ak je vozidlo v režime vyhľadávania parkovacieho miesta, tak by rýchlosť jazdy mala byť nižšia ako 30 km/h. [3]

Pri technológii snímania okolia vozidla sa uplatňujú tieto požiadavky:

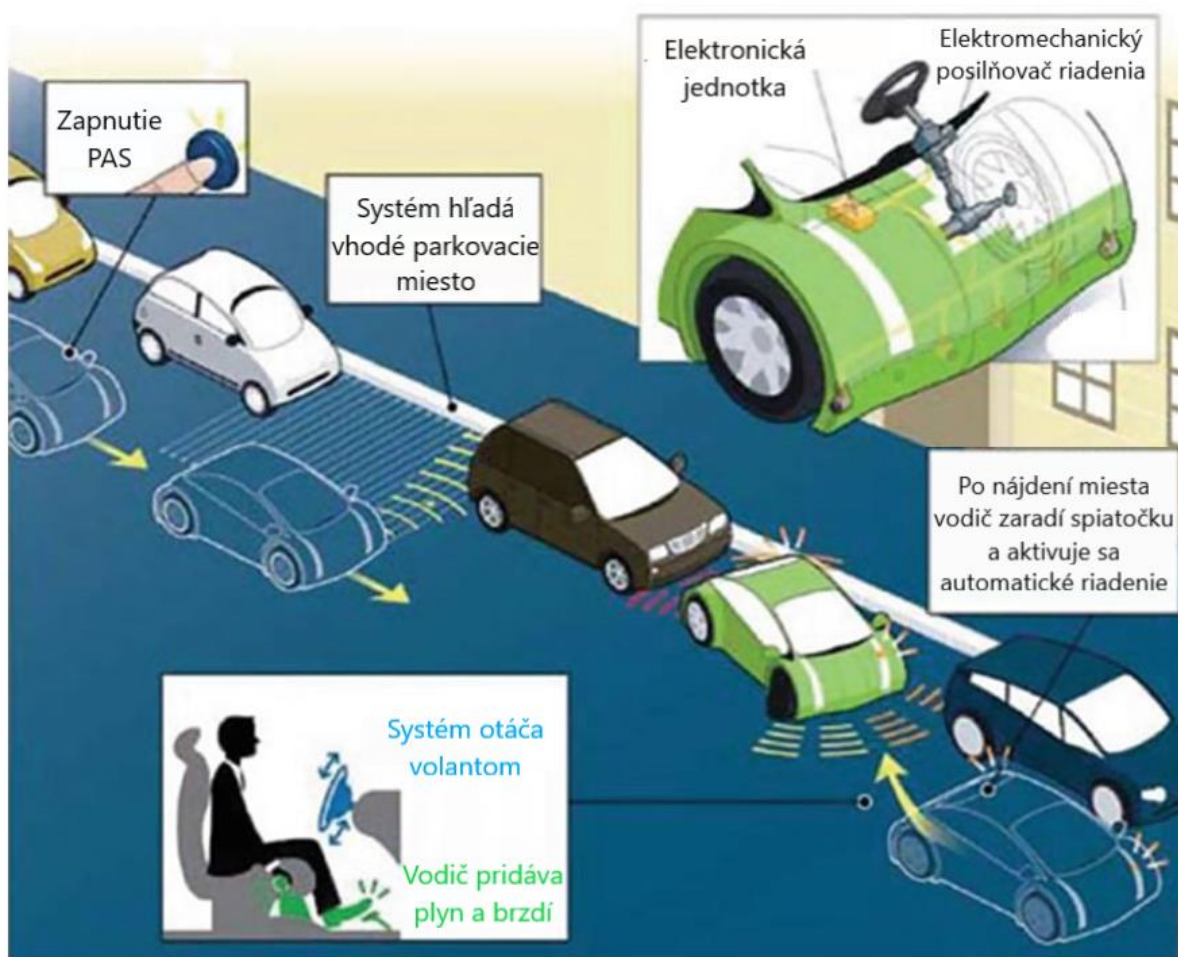
- úplné pokrytie detekčného poľa
- odolnosť voči vonkajším vplyvom (dážď, sneh, ľad, blato,...)
- vysoká presnosť pri meraní vzdialenosti a hľadání parkovacieho miesta
- krátka doba odozvy
- malé rozmery.

Ak sa jedná o poloautomatický alebo úplne automatický parkovací systém, je potrebné, aby spĺňal ďalšie požiadavky: [3]

- trajektória vozidla pri parkovaní systémom musí byť podobná ako pri parkovaní vodičom
- počas parkovacieho manévru nesmie dôjsť ku kolízii a vodič musí byť upozornený na vyskytujúce sa prekážky
- parkovacie miesta musia byť dostatočné veľké na manévrovanie pri zarovnávaní vozidla
- krátke trvanie parkovacieho manévru
- jednoduché rozhranie človek-stroj.

Prvé systémy mali predovšetkým varovnú funkciu, kedy vďaka ultrazvukovým senzorom snímali okolie vozidla a zvukovými signálmi upozorňovali vodiča o prekážkach nachádzajúcich sa v blízkom okolí vozidla. Týmto spôsobom vodičovi pomáhali vyhnúť sa kolízii pri vykonávaní parkovacieho manévru. Neskôr boli tieto systémy doplnené cúvacími kamerami, aby mohli vodičovi podať viac informácií o okolí vozidla. V súčasnosti tieto systémy pomáhajú nájsť vhodné parkovacie miesta, podporujú vodiča pri parkovacom manévri a niektoré sú schopné úplne prevziať kontrolu nad ovládaním vozidla. Modernizáciou prešli aj kamery, ktoré predtým snímali iba zadnú časť okolia automobilu. Dnes sú už k dispozícii kamery s priestorovým pohľadom zaznamenávajúcím celé okolie vozidla.

Medzi technologicky najvyspelejší parkovací systém patrí systém AVP (anglicky Automated Valet Parking). Ide o parkovací systém, ktorý nevyžaduje prítomnosť vodiča vo vozidle a automobil zaparkuje na základe požiadavky z inteligentného telefónu. Tento systém vyvíja firma Bosch v spolupráci s automobilkou Mercedes-Benz. Nový Mercedes-Benz triedy S je touto technológiou už vybavený. Je to prvé sériové vozidlo na svete s nevyhnutnou technológiou pre budúcu AVP prevádzku. [3] [13]

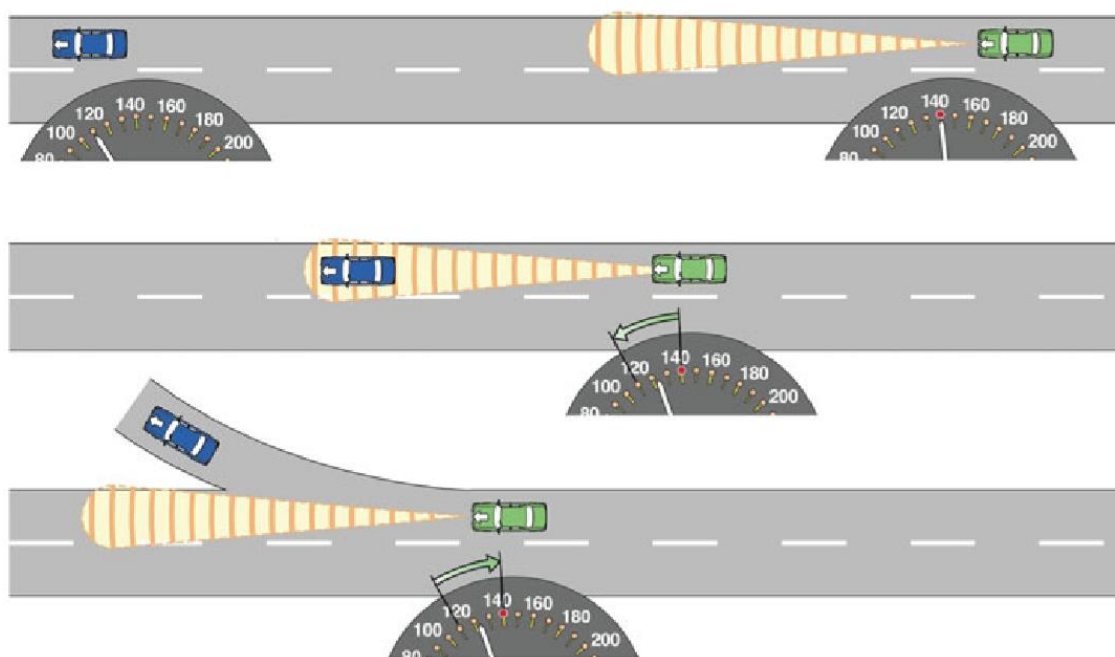


Obr. 7 Princíp činnosti poloautomatického parkovacieho systému [3]

1.8 Adaptívny tempomat ACC

Adaptívny tempomat (anglicky Adaptive Cruise Control) bol predstavený verejnosti v roku 1999 a stanovil ďalší míľnik v histórii asistenčných systémov. Po prvýkrát sa veľká časť úloh priradila automatickému systému, čím sa vo výraznej miere znížilo zaťaženie vodiča. S implementovaním elektronického ovládania bŕzd a pohonu a s využitím radarovej technológie bolo možné dosiahnuť čiastočne automatizovanú jazdu. Táto technológia bola v minulosti veľmi drahá, ale po čase sa stala čoraz dostupnejšou. [3]

ACC prispôsobuje rýchlosť vozidla okolitej premávke a dopravnej situácii. Jeho funkciu môžeme vidieť na obrázku č.8. Vodič zadá požadovanú rýchlosť vozidla a vzdialenosť od automobilu, ktorý je pred ním. Ak sa pred vozidlom nenachádza žiadne iné vozidlo, ACC udržiava konštantnú rýchlosť (obr. 8 hore). Keď sa však vodič so svojím vozidlom priblíži k pomalšiemu, pred ním idúcemu automobilu, systém automaticky pribrzdí vozidlo a s určitým prednastaveným odstupom nasleduje tento automobil, pričom si drží jeho rýchlosť (obr. 8 stred). Akonáhle je cesta voľná, systém zvýši výkon motora a vozidlo opäť zrýchli na vodičom požadovanú rýchlosť (obr. 8 dole). [3]



Obr. 8 Funkcia adaptívneho tempomatu [3]

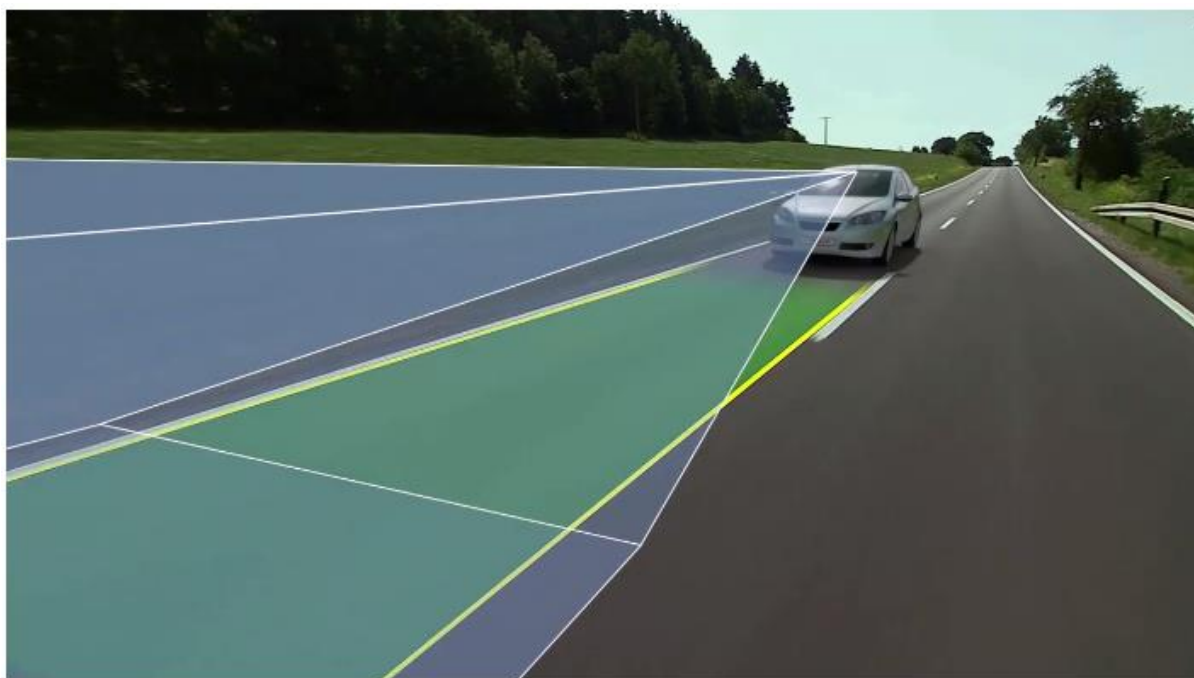
Na snímanie priestoru pred vozidlom slúžia radarové senzory umiestnené v maske vozidla. Tie vysielajú radarové vlny, ktoré sa odrážajú od okolitých objektov. Aby systém presnejšie rozpoznával objekty nachádzajúce sa pred vozidlom, spolupracuje s radarom aj kamera. Kamera vyhodnocuje to, v akom pruhu sa jednotlivé autá nachádzajú. Na základe informácií z radaru a kamery dokáže elektronická jednotka určiť vzdialenosť objektu pred sebou, jeho rýchlosť a rýchlosť, akou sa k nemu vozidlo približuje alebo od neho vzdďaľuje. Systém potom ovláda motor a brzdy tak, aby mohlo vozidlo automaticky spomaliť alebo zrýchliť.

Keď prišiel na trh systém ACC, jeho funkcie boli dostupné iba pri rýchlostiach vyšších ako 30 km/h. V súčasnosti tento systém spolu s automatickou prevodovkou funguje už pri nižších rýchlostiach a je schpný automaticky nasledovať ďalšie vozidlá pri dopravnej zápche.

1.9 Varovanie pred vybočením z jazdného pruhu LDW

Systém varovania pred vybočením z jazdného pruhu (anglicky Lane Departure Warning) je jedným z informačných systémov, ktorý varuje vodiča prostredníctvom hmatovej, vizuálnej alebo zvukovej spätnej väzby v prípadoch, kedy vozidlo neúmyselne opustí jazdný pruh. Už len chvíľková nepozornosť vodiča môže spôsobiť nežiadúce opustenie jazdného pruhu, čo môže viesť k vážnej dopravnej nehode. LDW vodiča pred takýmito situáciami v dostatočnom predstihu varuje a pomáha tak predchádzať nehodám.

Základným komponentom systému LDW je kamera nachádzajúca sa na zadnej strane vnútorného spätného zrkadla. Tá slúži na detekciu jazdných pruhov pred vozidlom a sledovanie vozidla v jazdnom pruhu. Kamera zaznamenáva a klasifikuje všetky bežné označenia jazdných pruhov až do vzdialenosti 60 metrov pred sebou alebo až do 100 metrov, ak sú veľmi dobré podmienky viditeľnosti. Či už sú dopravné značenia súvislé, prerušované, biele, žlté alebo inej farby. Ak systém zaznamená neúmyselné vybočenie vozidla z pruhu, informuje o tom vodiča zvukovým a vizuálnym signálom. Často k tomu systém využije aj vibrácie volantú alebo sedačky. LDW systém sa aktivuje automaticky naštartovaním vozidla. Dostupný je ale pri rýchlostiach nad 65 km/h a automaticky sa vypne, keď rýchlosť vozidla klesne pod 60 km/h alebo keď ho vodič vypne príslušným tlačidlom. Pod rýchlosťou 60 km/h je systém vypnutý, aby vodiča nerozptyľoval v rušnej mestskej premávke. Funkcia systému LDW tiež nevydá varovanie, keď vodič aktivuje smerové svetlo alebo odbočí úmyselne. Vodič si tiež môže zmeniť citlivosť systému z normálnej citlivosti na zvýšenú. V tom prípade sa informácie o vybočení vozidla z jazdného pruhu poskytnú skôr. [14]



Obr. 9 Snímanie jazdných pruhov systémom LDW [14]

1.10 Systém udržiavania v jazdnom pruhu LKA

Neúmyselné vychýlenie vozidla z jazdného pruhu je častou príčinou závažných dopravných nehôd. Napríklad na nemeckých cestách je to hlavnou príčinou až vyše jednej tretiny nehôd. Aby sa týmto nehodám zabránilo, boli na trh zavedené systémy ako už spomínaný LDW systém, ktorý sa neskôr rozšíril o systém udržiavania v jazdnom pruhu (anglicky Lane Keeping Assistance). Tento systém nie len, že varuje vodiča o vybočení z jazdného pruhu, ale na túto situáciu aj aktívne reaguje a podporuje vodiča tým, že zasahuje do ovládania vozidla tak, aby sa udržalo v jazdnom pruhu. [3]

Systém LKA využíva kameru na rozpoznanie jazdných pruhov rovnako ako systém LDW. Riadiaca jednotka v tomto prípade prijíma aj informácie o dynamike vozidla a zisťuje riziko opustenia jazdného pruhu. Ak toto riziko prekročí istú kritickú hodnotu, systém varuje vodiča vibráciou volantu a jemne zasiahne do riadenia, čím vodičovi pomôže upraviť smer jazdy. Tento systém dokáže fungovať aj v režime bočného navádzania, kedy nečaká na rizikové opustenie vozidla z pruhu, ale neustále podporuje vodiča jemnými zásahmi do riadenia. Niektoré LKA systémy umožňujú aj konfiguráciu, vďaka čomu si vodič môže nastaviť, či chce, aby sa vozidlo udržiavalo v strede jazdného pruhu, alebo uprednostňuje jazdu s miernym posuvom do strán. Vodič ale nie je zbavený zodpovednosti za vedenie vozidla. Systém neustále sleduje činnosť riadenia a zisťuje, či vodič riadi vozidlo, alebo necháva riadenie na systém. Ak aj vozidlo riadi systém a vodič nemá ruky na volante, je vyzvaný vizuálnym a zvukovým signálom, aby prevzal kontrolu nad vozidlom. Systém teda nikdy nepreberá úplnú kontrolu nad riadením, ale z väčšej časti do riadenia zasahuje.

1.11 Systém rozpoznania únavy vodiča

Spolu so systémom udržiavania v jazdnom pruhu sa často používa aj systém na rozpoznanie únavy vodiča. Únava a mikrosprávok za volantom sú častými príčinami vzniku dopravných nehôd. Systém na rozpoznanie únavy vodiča slúži na to, aby sa prejavy únavy zistili skôr ako dôjde ku kritickej situácii.

Najpoužívanejším spôsobom ako systém rozpoznáva únavu je pomocou senzoru, ktorý sníma uhol natočenia volantu. Systém je založený na algoritme, ktorý zaznamenáva správanie vodiča už od začiatku jazdy a rozpoznáva zmeny v jeho reakciách počas cesty. Typickými prejavmi poklesu koncentrácie sú fázy, kedy vodič takmer vôbec neriadi vozidlo, v kombinácii s rýchlymi a prudkými pohybmi volantu. Na základe frekvencie týchto pohybov a ďalších parametrov ako napríklad dĺžka cesty, používanie smerových svetiel a denný čas, systém vypočíta úroveň únavy vodiča. Ak táto úroveň vystúpa nad určitú kritickú hodnotu, vodič je na to upozornený zvukovým aj vizuálnym signálom. Automobilky často používajú ikonu šálky, ktorá sa zobrazí na palubnej doske a upozorní tak vodiča, aby si urobil prestávku. Tieto výstrahy sa po určitom čase opakujú, ak sa vodičové správanie pri riadení nezlepší.

Keď je vozidlo vybavené aj navádzaním na zastávku na odpočinok, systémami LDW, LKA a systémom rozpoznania únavy vodiča, dokáže vodič bezpečne dôjsť na odpočívadlo a vyhnúť sa tak kolízii, ktorá by bola bez týchto asistenčných systémov v mnohých prípadoch neodvratná.

1.12 Navigačný systém GPS

Jedným z dnes už bežných systémov nachádzajúcich sa v moderných automobiloch je navigačný systém GPS (anglicky Global Positioning System).

Tento systém má za úlohu:

- určovanie polohy a rýchlosti vozidla
- výpočet optimálnej trasy a navádzanie vodiča do vopred zvoleného cieľa
- informovať vodiča o aktuálnej dopravnej situácii
- identifikovať prekážky na cestách v dostatočnom predstihu.

GPS je navigačný systém, ktorý používa signály zo satelitov na určenie polohy GPS prijímača zabudovaného vo vozidle. Satelity GPS neustále vysielajú signál, ktorý obsahuje ich polohu a presný čas. Prijímač GPS zachytáva signál z najmenej štyroch satelitov a na základe času, za ktorý trvalo prijatie signálu, určí svoje vlastné súradnice. Poloha prijímača sa potom zobrazí na obrazovke navigačného systému vozidla.[15]

Systém GPS je už neodmysliteľnou súčasťou dnešných automobilov. Nie len, že vodičovi spríjemňuje jazdu a znižuje jeho pracovné zaťaženie, ale prispieva aj k jeho bezpečnosti. Vodiči v cudzom prostredí, ktorí nepoznajú terén a cesty tak, ako miestni obyvatelia, sú častejšími účastníkmi dopravných nehôd. Práve v takýchto situáciách má navigačný systém bezpečnostné dôsledky. Pomáha vodičovi orientovať sa v neznámom prostredí, čím znižuje jeho mentálne zaťaženie. Vodič sa tak môže primárne venovať riadeniu vozidla, a tým predísť rizikám nehôd spôsobených nepozornosťou. Ďalšou výhodou systému GPS je úspora paliva a času, vďaka nájdaniu optimálnej trasy, ktorú si vodič môže dopredu zvoliť. [4]



Obr. 10 Navigačný systém vo vozidle automobilky VW [16]

1.13 Head-Up displej HUD

Jedným zo zaujímavých systémov v moderných automobiloch je Head-Up displej (HUD). Tento systém bol pôvodne vyvinutý pre vojenské stíhacie lietadlá, ale postupne sa uplatnil ako v civilnej leteckej doprave, tak aj v automobilovej doprave.

Konvenčné prístrojové panely sú v pozorovacej vzdialenosti 0,8 až 1,2 m. Na to, aby z nich mohol vodič počas cesty odčítať informácie, musí zaostriť svoj zrak z dlhej vzdialenosti na krátku. Tento proces zvyčajne trvá od 0,3 do 0,5 sekúnd. Pre starších vodičov je tento proces veľmi namáhavý a niekedy takmer nemožný. Na to, aby vodič nemusel odtrhnúť svoj zrak od situácie na vozovke sa používa systém HUD. Ten premieta dôležité informácie ako napríklad rýchlosť vozidla, nastavenie tempomatu, dopravné značenie, prípadne navigáciu na čelné sklo automobilu do zorného poľa vodiča. [3]

Premietaný obraz by nikdy nemal prekryvať to, čo sa deje na vozovke, aby nedošlo k rozptýleniu pozornosti vodiča. HUD by nemal byť preplnený informáciami, aby sa zabránilo nadmernej stimulácii v primárnom zornom poli vodiča. V dôsledku toho nemôže HUD nahradiť konvenčný prístrojový panel. [3]



Obr. 11 HUD v automobile [17]

1.14 Systém varovania pred zrážkou FCWS

Približne 30% dopravných nehôd je zapríčinených nárazom vozidla zozadu (anglicky rear-end collision). Nepozornosť vodiča je jednou z najčastejších príčin týchto dopravných nehôd, ktoré vznikajú najmä pri monotónnom riadení vozidla na diaľnici, kedy vodič nestihne zareagovať na brzdiace vozidlo pred ním. Systém varovania pred zrážkou FCWS (anglicky Forward Collision Warning System) je riešením na zníženie počtu týchto nehôd. [18]

Štúdie ukazujú, že ak by bol vodič varovaný 0,5 sekundy skôr ako zareaguje sám na vozidlo pred ním, zabránilo by sa približne 60% kolíziám spôsobených narazením zozadu. Ak by bol varovaný o sekundu skôr, bolo by možné zabrániť až 90% takýchto kolízií. Tieto zistenia nám ukazujú dôležitosť varovného systémov ako je FCWS. [18]

FCWS spolu so systémom GPS a kamerou, používanou aj pri systéme LDW, zistí polohu vozidla, jeho rýchlosť a vzdialenosť od vozidla pred ním. Keď je táto vzdialenosť príliš malá, systém vydá zvukové signály, ktoré varujú vodiča pred možnou kolíziou s vozidlom. Funkcia FCWS sa aktivuje automaticky, keď vozidlo prekročí rýchlosť 50 km/h.

Na spoľahlivosť systému FCWS vplyva viacero faktorov: [19]

- funkcia FCWS nemusí vozidlo identifikovať, ak kamere bráni vo výhlade dážď, hmla, sneženie, ostré slnečné svetlo alebo prudké svetlo reflektorov, či tma
- funkcia FCWS nemusí správne fungovať, ak kamera nie je správne vyrovnaná
- funkcia FCWS nemusí zistiť vozidlo, ktoré je ďalej ako 40 metrov alebo bližšie ako 5 metrov
- funkcia FCWS nemusí správne fungovať, ak nastavenia umiestnenia kamery nesprávne uvádzajú výšku vozidla alebo umiestnenie zariadenia vo vozidle.

FCWS sľubuje veľký pokrok v bezpečnosti cestnej premávky a znížení rear-end nehôd. Experimenty ukázali, že včasné varovanie vodiča prispieva k jeho skorším reakciám a je schopný vyhnúť sa kolízii s väčšou pravdepodobnosťou, ako vodič, ktorý bol varovaný neskôr alebo nebol varovaný vôbec. Vďaka tomuto varovaniu vodič skôr uvoľní nohu z plynu a začne brzdiť, čím sa skráti brzdná dráha. Moderné systémy okrem varovania vodiča aktívne zasahujú do brzdového systému automobilu v momente, kedy vodič nereaguje na výstražné signály. [20]



Obr. 12 Identifikácia vozidla systémom FCWS [21]

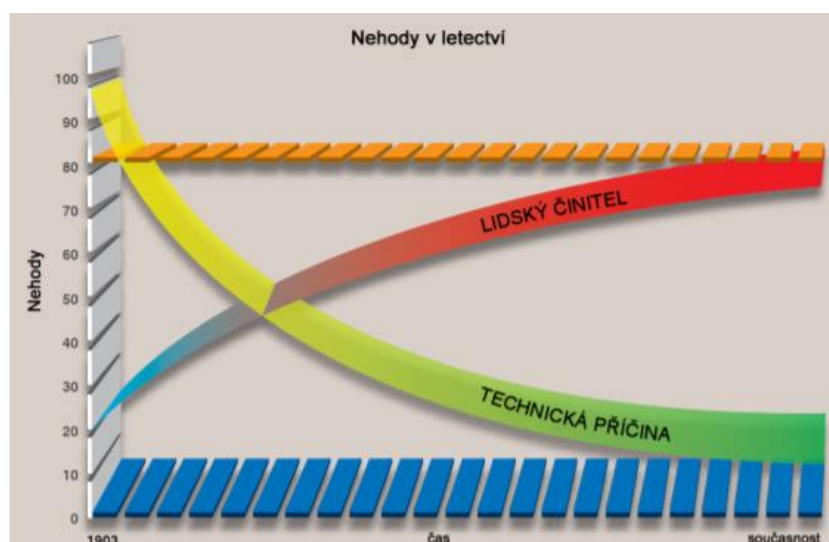
Týmto sme si stručne predstavili asistenčné systémy automobilov. V nasledujúcej kapitole si ukážeme, aké asistenčné systémy sa používajú v lietadlách.

2 Asistenčné systémy v lietadlách

2.1 Bezpečnosť leteckej dopravy

Letecká doprava je všeobecne považovaná za najbezpečnejšiu dopravu. Je to dôsledkom prísnych nariadení a právnych usmernení, ktoré sa musia dodržiavať ako pri konštrukcii a certifikácii lietadiel, tak aj pri školení pilotov. Mnoho leteckých nehôd poslúžilo na to, aby sa zavádzali nové predpisy, nariadenia a technologické postupy, ktoré majú zvýšiť bezpečnosť leteckej dopravy. Lietadlá dnes disponujú modernými zariadeniami a technológiami zabezpečujúcimi spoľahlivosť leteckých motorov a palubných systémov. Vďaka nadobudnutým skúsenostiam a technologickému pokroku sa mohé letecké systémy vyvinuli takmer do dokonalosti. Tieto systémy sa vyvíjali a neustále vyvíjajú takým tempom, za ktorým však zaostával jeden činiteľ, a to je človek. Veľký dôraz sa začal klásť na pilotov, ich výcvik a vytváranie postupov, podľa ktorých sa piloti riadia ako pri bežných úkonoch, tak aj pri kritických situáciách. V neposlednom rade je bezpečnosť leteckej dopravy zvýšená asistenčnými systémami, ktoré pomáhajú znížiť zaťaženie pilota.

V minulosti boli hlavné príčiny nehôd technické problémy. Vďaka moderným technológiám, materiálom, postupom výroby a certifikácie lietadiel sa nehodovosť podstatne znížila, ale príčinou vzniku leteckých nehôd sa čoraz viac stával ľudský faktor. Približne $\frac{3}{4}$ nehôd je zapríčinených ľudským faktorom. Najvýznamnejšou mierou sa podieľa na vzniku leteckých nehôd a medzi hlavné príčiny patrí nezvládnutá technika pilotáže a nedôslednosť pri konaní povinných úkonov. Práve preto je dôležité sa zamerať na asistenčné systémy, ktoré majú za úlohu čo najviac asistovať pilotovi pri pilotáži a odbremeniť ho od mnohých monotónnych činností. Zásluhou automatizácie, ktorá v dnešných moderných lietadlách dosiahla vysokú úroveň je pilot teoreticky nútený zasahovať do riadenia lietadla len v kritických situáciách. Tým pádom je potrebné, aby mal pilot veľa teoretických znalostí o funkciách asistenčných systémov v lietadle, vedel, ako ich používať a ako správne vyhodnotiť informácie, ktoré od nich dostáva. [22] [23]



Obr. 13 Znáznornenie príčin vzniku leteckých nehôd v čase.[24]

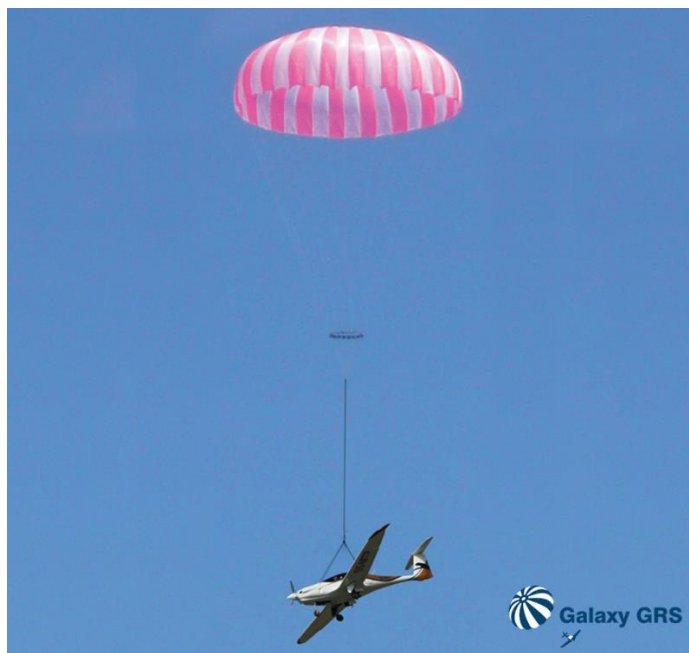
Podobne, ako pri bezpečnosti automobilov, môžeme bezpečnosť lietadiel rozdeliť na pasívnu a aktívnu.

2.1.1 Pasívna bezpečnosť lietadiel

Nie vždy je možné zabrániť tomu, aby sa pilot vyhol nehode. Na to, aby sa minimalizovali závažnosti nehody a nedošlo k ťažkým zraneniam posádky sa používajú prvky pasívnej bezpečnosti, medzi ktoré patria napríklad:

- chránené palivové nádrže, ktoré pomáhajú znížiť riziko požiaru po náraze
- bezpečnostné pásy
- konštrukcia sedadla
- konštrukcia trupu lietadla
- záchranný padákový systém.

Jedným z moderných prvkov pasívnej bezpečnosti ultraľahkých lietadiel, ktorý v kriticknej situácii pomáha pilotovi bezpečne pristáť na zem a znížiť závažnosť následkov nehody, je záchranný padákový balistický systém. V momente, keď je pád lietadla neodvratiteľný, pilot odpáli raketu, ktorá vytiahne zabalený padák v púzdre. Až keď sa celé púzdro dostane mimo lietadla, tak sa padák začne rozbalovať. Vďaka raketovému odpáleniu púzdra s padákom sa celý závesný systém napne, čím sa pri otvorení padáku znížia dynamické rázy. Celý systém je navrhnutý tak, aby došlo k rozbaleniu a naplneniu padáku za čo najkratšiu dobu. Tento systém si patentovala česká firma Galaxy GRS, ktorá je prvým a najväčším európskym výrobcom balistických záchranných systémov. Prispela k záchrane už celkom 106 životov. [25]



Obr. 14 Balistický záchranný systém Galaxy GRS [25]

2.1.2 Aktívna bezpečnosť lietadiel

Prvky aktívnej bezpečnosti pomáhajú pilotovi rovnako ako vodičovi vyhnúť sa kritickej situácii a upozorniť ho skôr než by k nej došlo. V lietadlách nato slúžia asistenčné systémy, ktoré si bližšie opíšeme v ďalších podkapitolách tejto práce.

V letectve sa dnes používa množstvo systémov na zvýšenie bezpečnosti, zjednodušenie riadenia lietadla a zníženie záťaže pilota. Asistenčné systémy v tejto práci sú zamerané na lietadlá kategórie všeobecného letectva.

2.2 Všeobecné letectvo

Všeobecné letectvo (General aviation - GA) je pojem, ktorý zahŕňa všetky druhy letectva okrem vojenského letectva a komerčných leteckých spoločností. Príkladom toho, čo spadá pod GA je: [26]

- letecké taxislužby
- charterové lety
- firemné lety
- súkromné lety
- nákladné lety
- výhliadkové lety
- letecké záchranné služby
- letecký výcvik.

Všeobecné letectvo je dôležité najmä v tom, že každý pilot leteckej spoločnosti, ako aj vojenský pilot, začali svoj výcvik v kabíne lietadla všeobecného letectva. Je to miesto, kde sa piloti učia, ako fungujú asistenčné systémy a ako s nimi reálne pracovať. V ďalších kapitolách si predstavíme jednotlivé asistenčné systémy lietadiel všeobecného letectva, ktoré má pilot k dispozícii a popíšeme si, ako fungujú.

2.3 Systém automatického riadenie letu

Dnes už bežne používaným systémom, ktorý výrazne prispel k zníženiu záťaže pilota je systém automatického riadenia letu, nazývaný tiež autopilot. V anglickom jazyku je tento systém označovaný ako AFCS (anglicky Automatic Flight Control System). Prvý autopilot bol predstavený vo Francúzsku roku 1914 Lawrencom Sperryom.

Autopilot je systém, ktorý riadi lietadlo bez nutnosti toho, aby pilot musel priamo ovládať riadenie, čím sa znižuje jeho pracovná záťaž a dokáže sa lepšie sústrediť na celkový stav lietadla a letu. Autopilot aktívne zasahuje do riadenia letu, čím zlepšuje stabilitu lietadla. Nato, aby bolo možné let čo najviac automatizovať, je potrebné, aby pilot zadal presné letové parametre. Najmodernejšie systémy automatického riadenia letu sa nestarajú len o stabilitu lietadla počas letu, ale dokážu tiež automatizovať úlohy, ako sú:

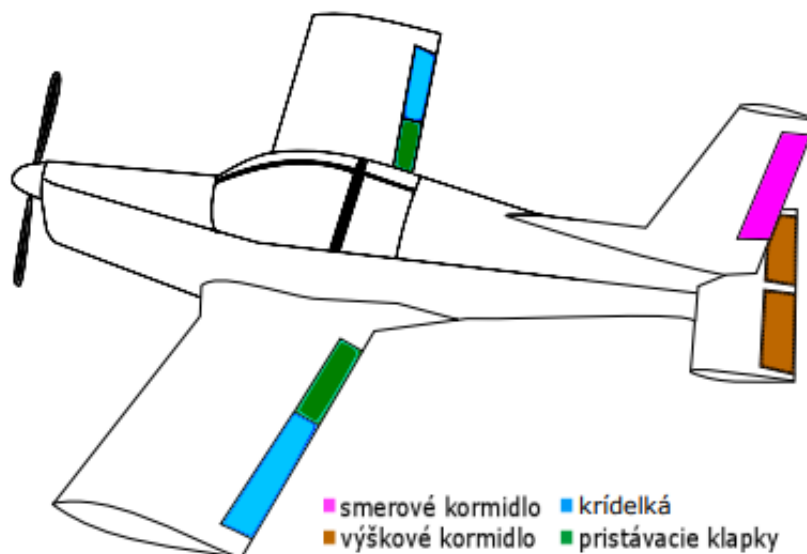
- udržiavanie letovej výšky
- stúpanie alebo klesanie do určitej výšky
- udržiavanie vopred zvolenej trajektórie.

Základným princípom autopilota je oprava chyby. Ak lietadlo nespĺňa vybrané podmienky letu, systém túto chybu automaticky opraví a vráti lietadlo späť do polohy požadovanej pilotom. Hlavným komponentom je riadiaca jednotka tzv. letový direktor. Ten obsahuje množstvo procesorov, ktoré na základe získaných informácií zo senzorov porovnávajú pilotom požadovanú hodnotu so skutočnou hodnotou. Letový direktor prostredníctvom servopohonov na riadiacich plochách lietadla následne upraví polohu lietadla do polohy požadovanej pilotom. [27] [28]



Obr. 15 Schéma autopilota [27]

Na obr.15 je znázornený systém automatického riadenia letu. Pilot zadá parametre letu do ovládacieho panela, riadiaca jednotka si tieto zadané parametre uchová a porovnáva ich s informáciami, ktoré získava z gyroskopického ukazovateľa smeru, zatáčkomeru, umelého horizontu a výškomeru. Pri vzniku odchýlky medzi týmito hodnotami vyšle riadiaca jednotka pokyn servomotorom na riadiacich plochách, aby zmenou ich polohy upravili polohu lietadla.



Obr. 16 Riadiace plochy lietadla [28]

Aby autopilot dokázal udržiavať lietadlo na vopred zvolenej trajektórii, potrebuje dostávať presné údaje o polohe lietadla. Tie mu poskytujú navigačné systémy ako napríklad GPS a systém INS (anglicky Inertial Navigation System). Takéto riadenie lietadla pomocou autopilota a navigačného systému je presné a lietadlo striktnie udržiava požadovanú stopu. Dovoľené sú iba malé odchýlky. [29]

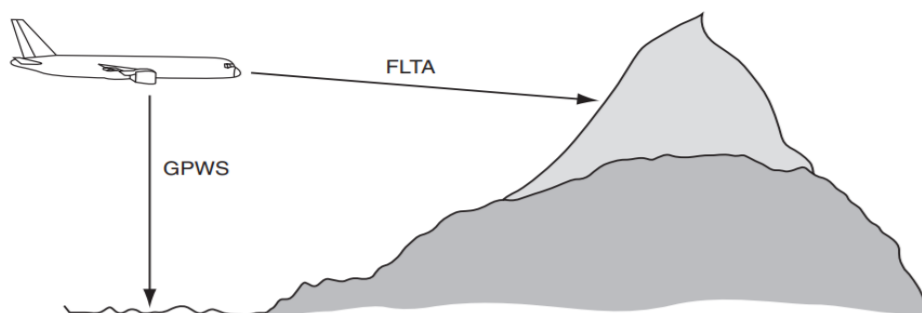
Vďaka autopilotovi je pilot odbremený od neustálej, unavujúcej manipulácie riadenia lietadla pri dlhých, monotónnych letoch. Avšak, nadmerná závislosť pilota na automatickom riadení lietadla ho môže po čase stať jeho ťažko získané zručnosti, ktoré nadobudol pri výcviku. Pilot tak môže postupom času prísť o schopnosť bezpečného pilotovania. Preto je dôležité, aby si svoje osvojené zručnosti neustále precvičoval, a najmä rozvíjal svoje znalosti o používaní asistenčných systémov ako je autopilot. Je potrebné vedieť správne naprogramovať systém, vybrať vhodný režim letu a poznať hranice tohto systému. Dôležité tiež je, aby pilot vedel na základe čoho sa systém deaktivuje či už jeho zásahom, alebo nie. Autopilot je teda systémom, ktorý určite dokáže vo veľkej miere uľahčiť pilotáž, ale na druhej strane musí byť pilot s jeho funkciami dostatočne oboznámený a v každej situácii pripravený adekvátne zasiahnuť do riadenia lietadla. [29]

2.4 Varovné a informačné systémy

V ďalších podkapitolách si predstavíme systémy v kokpitoch lietadiel, ktoré pilota informujú, varujú, pomáhajú mu sledovať priebeh letu, vyhýbať sa terénu, okolitým lietadlám v leteckej premávke alebo nepriaznivým poveternostným podmienkam. Cieľom týchto systémov je pilota informovať o možných blížiacich sa krízových situáciách, aby na ne mohol v dostatočnom predstihu reagovať a predísť im.

2.4.1 Systém varovania pred blízkosťou terénu TAWS

TAWS (anglicky Terrain Awareness and Warning System) je systém poskytujúci informácie o teréne nachádzajúcom sa na trase lietadla. V sedemdesiatych rokoch sa uskutočňovali štúdie vyšetrovateľmi leteckých nehôd, ktoré ukázali, že jednou z najvýznamnejších príčin nehôd tej doby bol riadený let do terénu CFIT (anglicky Controlled Flight Into Terrain). To môže byť definované ako nehoda, kedy servisované lietadlo bez závady, pilotované kvalifikovaným pilotom neúmyselne vletí do terénu, prekážky alebo vody. Cieľom TAWS je zníženie počtu týchto nehôd. Ako prvý bol v roku 1967 vyvinutý výstražný systém priblíženia k zemi GPWS (anglicky Ground Proximity Warning System), ktorý pomocou radaru snímal terén pod lietadlom. Ten bol neskôr vylepšený pridaním funkcie vyhýbania sa terénu pred lietadlom FLTA (anglicky Forward Looking Terrain Avoidance), ktorá je možná vďaka spolupráci senzorov a GPS systému. TAWS môžeme chápať ako kombináciu systémov GPWS a FLTA (obr. 17). [30]



Obr. 17 TAWS ako kombinácia systémov GPWS a FLTA [30]

Pilot dostáva informácie o teréne prostredníctvom multifunkčného displeja, na ktorom sú farebne označené jednotlivé výškové hladiny. Tento displej spolupracuje so systémom GPS a porovnáva výšku a pozíciu lietadla s topografickou databázou. [29] Na displeji môže pilot vidieť 3 farby, ktoré indikujú jednotlivé výškové hladiny: [30]

- červená – znázorňuje terén, ktorý je nad aktuálnou výškou lietadla
- žltá – je závislá od fáze letu, napr. na trase priblíženia sa kvôli pristátiu
- zelená – indikuje terén, ktorý je z hľadiska požadovanej svetlej výšky lietadla bezpečný.



Obr. 18 Multifunkčný displej so znázornením výškových hladín od firmy GARMIN [31]

TAWS systém poskytuje pilotovi informácie o nasledovných krízových situáciách a včas ho pred nimi varuje akustickými signálmi:[29]

- neprimerané klesanie („PULL UP“, „SINKRATE“)
- neprimerané približovanie sa k zemi („TERRAIN“, „PULL UP“)
- strata výšky po vzlietnutí („DON'T SINK“)
- let do terénu, keď nie je v pristávacej konfigurácii („TOO LOW – TERRAIN“, „TOO LOW – GEAR“, „TOO LOW – FLAPS“).

Zavedením systémov varovania pred blízkosťou terénu sa prudko znížil počet CFIT nehôd. Napriek tomuto významnému skoku bezpečnosti vpred sa nehody týkajúce sa vletu do terénu stále objavujú. V mnohých prípadoch tieto nehody súvisia s reakciou pilota na varovné signály. Signály pôsobia často neprijateľne a dokážu pilota spraviť menej vnímavým na tieto varovania. To môže viesť k pilotovmu vedomému, ale aj nevedomému rozhodnutiu ignorovať tieto výstrahy a považovať ich za nepotrebné. Prispel k tomu aj fakt, že varovné signály často zneli aj v situáciách, kedy bolo priblíženie sa k terénu cieľené. Väčšina systémov TAWS obsahuje preto logickú jednotku, ktorá rozpoznáva tieto situácie a varovné signály neaktivuje, keď je priblíženie sa k terénu zámerné. Táto funkcia je založená na vzdialenosti lietadla od plánovanej pristávacej dráhy. Vďaka tomu sú varovné signály vypnuté v bežných situáciách a v kritických situáciách pôsobia na pilota rušivo, aby ho včas upozornili na nebezpečnú situáciu stretu lietadla s terénom. [29]

2.4.2 Protizrážkový systém TCAS

Systém TCAS (anglicky Traffic Collision Avoidance System) pomáha pilotovi získať povedomie o lietadlách v jeho blízkosti a varuje ho pred možnosťou vzniku kolízie. V minulosti lietadlá lietali v podmienkach priamej viditeľnosti zeme. Nazývalo sa to „vidieť a byť videný“. Piloti mali zodpovednosť udržiavať bezpečné rozostupy. K tomu bola však potrebná dobrá viditeľnosť a stála pozornosť posádok lietadiel. Systém TCAS bol vyvíjaný od roku 1956, kedy došlo v Amerike k tragickej zrážke dvoch lietadiel nad Grand Canyonom. [32]

TCAS poskytuje zvukové výstrahy v momente, keď sa lietadlo dostane do určitej vzdialenosti od iného lietadla. Pomocou multifunkčného displeja dokáže tento systém vizuálne znázorniť okolie leteckú prevádzku. Pilot môže nastaviť citlivosť systému, ktorý potom zobrazuje iba lietadlá nachádzajúce sa v konkrétnej vzdialenosti od lietadla.

K dispozícii sú dnes dva druhy TCAS systému. Jeden, ktorý na detekciu blízkych lietadiel využíva senzory v lietade a druhý, spoliehajúci sa na informácie získavané zo zariadení na zemi. V prvom prípade TCAS funguje na základe odpovedí z transpondérov okolitých lietadiel. Transpondér je radarový vysielateľ, ktorý podáva informáciu o polohe, výške, rýchlosti a smere lietadla. V druhom prípade sa na monitorovanie prevádzky využíva systém ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast). ADS-B zisťuje potrebné informácie o polohe lietadla prostredníctvom globálneho navigačného systému a tieto informácie periodicky posiela do okolia, kde ich zachytávajú pozemné stanice a blízke lietadlá s rovnakým vybavením. Tento novodobý systém umožňuje pilotom vidieť letovú prevádzku rovnako, ako ju vidia dispečeri letovej prevádzky. [29]

Vďaka získaným informáciám od okolitých lietadiel dokáže systém TCAS poskytnúť pilotovi akustické výstrahy a upozornenia v prípade, že sa v jeho trajektórii nachádza iné lietadlo. Moderné systémy dokážu pilota nie len informovať a varovať o prítomnosti iného lietadla nachádzajúceho sa v jeho letovej dráhe, ale vedia tiež dať pilotovi pokyn na vykonanie potrebného manévru, aby sa zabránilo zrážke.



Obr. 19 Znáznornenie leteckej premávky na displeji v kokpíte od firmy GARMIN [31]

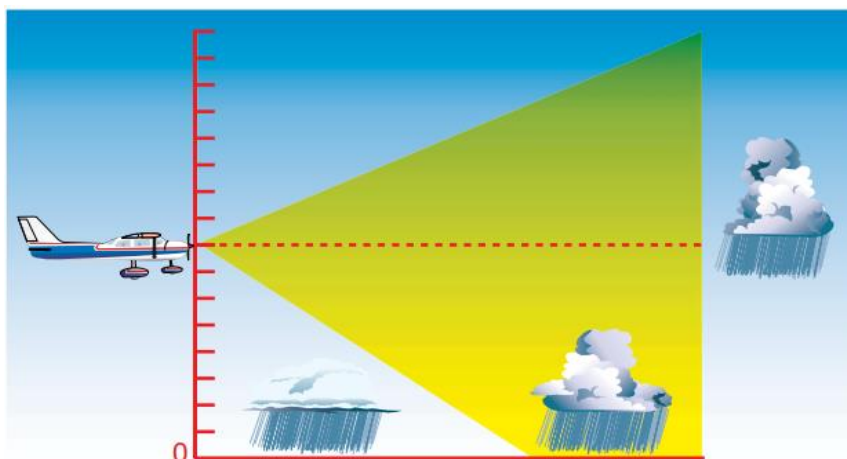
2.4.3 Systém monitorujúci počasie

V moderných kokpitoch dnes nájdeme tiež systémy, ktoré poskytujú pilotovi informácie o počasí. Vďaka týmto pokročilým systémom má pilot zvýšené povedomie o počasí, s ktorým sa počas letu môže stretnúť. Informácie z týchto systémov sú pilotovi zobrazované na multifunkčnom displeji.

Existujú tri typy meteorologických systémov: [29]

- palubný meteorologický radarový systém
- detektory bleskov
- satelitné alebo iné vonkajšie zdroje informácií o počasí.

Palubný meteorologický radarový systém využíva nastaviteľnú anténu na detekovanie aktuálnych poveternostných podmienok v blízkosti lietadla. Radar vyšle signál znázornený na obrázku 20. Tento signál sa odráža od kvapiek vody a vracia sa späť do lietadla. Systém tento odrazený signál vyhodnotí a následne na multifunkčnom displeji zobrazí pilotovi miesta, kde a s akou intenzitou sa nachádza dážď, sneh alebo krupobitie. Pilot by mal mať neustále na pamäti, že radar zobrazuje iba oblasti, kde sa nachádza voda a vlhkosť. Radar neinformuje o miestach s turbulenciami alebo bleskami. Anténa radarového systému sa síce dá natáčať nahor a nadol, ale aj napriek tomu je detekcia poveternostných podmienok obmedzená vo vzdialenosti a smere (obr.20). [29]



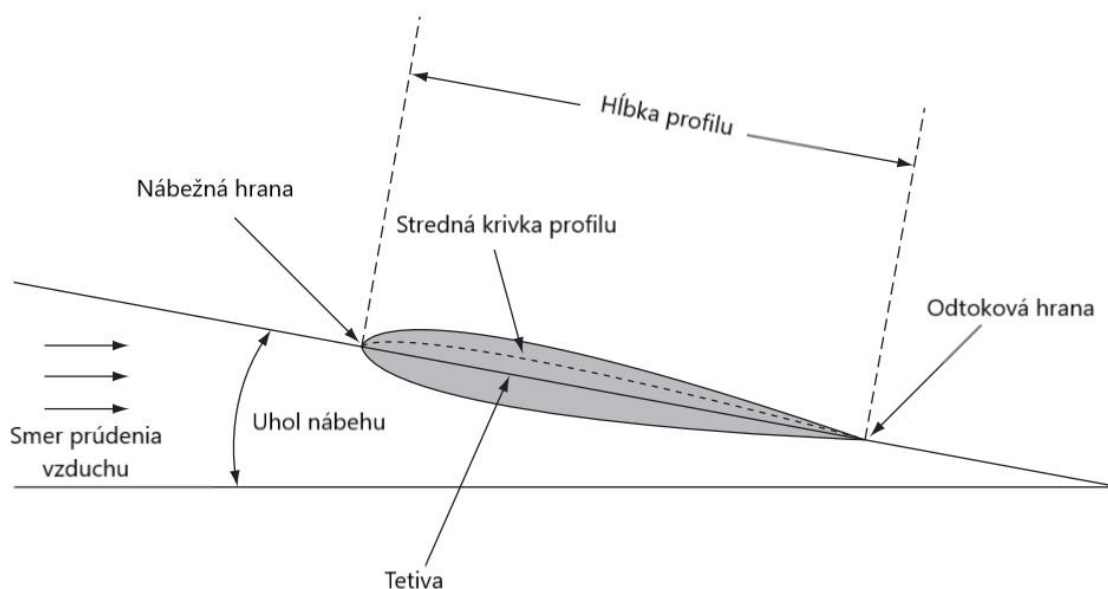
Obr. 20 Snímanie počasia radarovým signálom [29]

Na zisťovanie potenciálne nebezpečného počasia v podobe bleskov sa využívajú prijímače, ktoré zachytávajú elektromagnetické signály vyvolané bleskom. Riadiaca jednotka z týchto signálov potom vypočíta miesto úderu blesku a zobrazí ho pilotovi na displeji. Toto miesto je úzko spojené s intenzitou, akou blesk udel.

Aby pilot získal celkový a relevantný obraz o aktuálnej poveternostnej situácii, tak sa okrem spomínaných systémov využívajú aj informácie zo satelitov a pozemných meteorologických staníc, ktoré sa posielajú lietadlám. Tieto informácie sú ale o niečo menej aktuálne ako informácie získané z palubných systémov. Preto je potrebné, aby si pilot uvedomil limity jednotlivých systémov. Palubné systémy na monitorovanie počasia sú dôležité najmä pri okamžitom rozhodovaní sa pilota, akú trasu si vyberie, aby sa vyhol blízkym, potenciálne nebezpečným poveternostným podmienkam. Informácie získané z pozemných zdrojov sú užitočné pri plánovaní trasy ešte pred vzletom. [29]

2.4.4 Systém varovania pred pádom

Krídla lietadla majú špecifický tvar navrhnutý tak, aby pri obtekaní vzduchu profilom krídla vznikala vztlaková sila. Práve vztlaková sila je zodpovedná za to, že sa lietadlo udrží vo vzduchu. Terminológiu a znázornenie jednotlivých častí krídla môžeme vidieť na obrázku 21. Základný princíp aerodynamiky hovorí, že so zväčšujúcim sa uhlom nábehu sa zväčšuje aj vztlak. To ale platí len do určitého bodu, ktorý nazývame kritický uhol nábehu. Uhol nábehu je uhol, ktorý zvierajú tetiva krídla s vektorom relatívneho pohybu lietadla a okolitej atmosféry. Keď uhol nábehu dosiahne kritickú hodnotu, z laminárneho prúdenia vzduchu po profile krídla vznikne turbulentné, čím dôjde k prudkému zníženiu vztlaku a lietadlo začne strácať rýchlosť a výšku. Kritickú hodnotu uhlu nábehu má každý profil krídla. Pri tomto uhle je koeficient vztlaku rovný nule a lietadlo sa dostane do pádu. [30]



Obr. 21 Profil krídla lietadla [30]

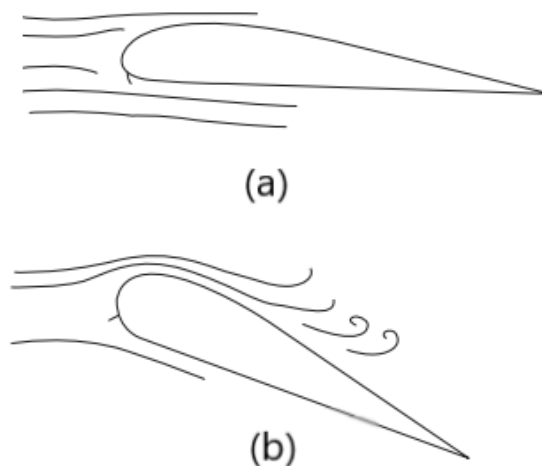
Systém varovania pred pádom (anglicky stall warning system) je systém, ktorý varuje pilota, aby pri stúpaní lietadla nedošlo k prekročeniu kritického uhlu nábehu a strate vztlaku. Systém jasnými a zreteľnými signálmi varuje pilota pred dosiahnutím tejto kritickej situácie. Varovné signály môžu byť v podobe zvukových výstrah, svetelnej signalizácie a prostredníctvom vibrácií riadiacej páky.

Najčastejšie sa na upozornenie pilota pred dosiahnutím kritického uhlu nábehu u lietadiel kategórie GA používa malý otvor na nábežnej hrane, ktorý funguje ako píšťala. Tento spôsob nevyžaduje elektrickú energiu. Princíp spočíva v tom, že keď sa uhol nábehu blíži ku kritickej hodnote, tlak vzduchu je na mieste otvoru nižší ako v kabíne, čím vzniká podtlak, ktorý nasáva vzduch z kabíny a ten putuje do jazýčka, ktorý začne vibrovať na počuteľnej frekvencii rovnako ako pri hudobnom nástroji. Tento zvuk je následne zosilnený trúbkou, umiestnenou v kabíne lietadla.

Ďalším rozšíreným spôsobom na informovanie a varovanie pilota pred dosiahnutím kritického uhla nábehu je použitím klapkového senzora nachádzajúceho sa na nábežnej hrane lietadla (obr.22). Klapka je držaná v prednej polohe pomocou pružiny a je pripojená k mikrosypínaču. Pri bežných uhloch nábehu je klapka odklonená prútokom vzduchu, ktorý pôsobí proti tlaku pružiny a mikrosypínač je v otvorenej polohe (obr.23, a). Keď sa zvýši uhol nábehu, zmenší sa tlak vzduchu pôsobiaci na klapku a pružina posunie klapku do prednej polohy, čím sa zopne mikrosypínač a uzavrie sa elektrický obvod (obr.23, b). Ten aktivuje svetelnú signálizáciu a spustí sa výstražný zvuk v kabíne. [30]



Obr. 22 Klapkový senzor na krídle lietadla [26]



Obr. 23 Princíp fungovania klapkového senzora [26]

Väčšina moderných lietadiel je vybavená systémom varovania pred pádom, avšak mnoho historických, experimentálnych alebo ľahkých športových lietadiel týmto systémom nedisponuje. Preto je dôležité, aby pilot vedel aj sám rozpoznať, kedy sa uhol nábehu lietadla dostáva ku kritickej hodnote. Medzi dôležité podnety patrí: [33]

- pocit – so znižujúcou sa rýchlosťou cíti pilot zmenu v sile potrebnej na riadenie lietadla, všimne si, že sa zvýši reakčný čas lietadla na riadenie a objavia sa nepríjemné vibrácie
- zrak – kvôli výške nie je vždy jednoduché vizuálne zistiť, pod akým uhlom lietadlo stúpa, ale pilot by si mal byť vedomý sklonu lietadla
- sluch – so zmenou rýchlosti by si mal pilot všimnúť zmenu zvuku spôsobenú vzduchom prúdiacim pozdĺž lietadla
- kinestézia – fyzický pocit v ľudskom tele spojený s vnímaním zmeny rýchlosti a smeru pohybu, ktorý je dôležitým ukazovateľom pre trénovaných a skúsených pilotov.

Asistenčné systémy sú dnes už neoddeliteľnou súčasťou leteckého aj automobilového priemyslu. V ďalšej kapitole si tieto systémy porovnáme, pozrieme sa, čo majú spoločné a čím sa líšia.

3 Porovnanie asistenčných systémov v jednotlivých oblastiach

Či sa už jedná o asistenčné systémy v automobiloch alebo lietadlách, môžeme skonštatovať, že hlavnou motiváciou na vývoj a implementovanie asistenčných systémov do áut a lietadiel bola a stále je bezpečnosť. Mnoho dopravných a leteckých nehôd prispelo k tomu, aby boli vyvinuté jednotlivé systémy, ktoré sa stali akoby záplatou určitých druhov nehôd, ako je tomu napríklad pri systémoch FCWS alebo TAWS. Asistenčné systémy v automobile, ktoré zasahujú do riadenia, pomáhajú vodičovi v krízových situáciách udržať kontrolu nad vozidlom a zabrániť tak havárii. Ďalším dôvodom na používanie asistenčných systémov je zvýšiť komfort vodiča či pilota a znížiť ich pracovnú záťaž. Vďaka použitiu autopilota je pilot odbremený od neustáleho manévrovania s lietadlom a dokáže sa tak lepšie sústrediť na stav lietadla, plánovanie trasy, letové podmienky a pri signalizácii poruchy alebo inej krízovej situácii je schopný ju lepšie prehodnotiť a podniknúť vhodné opatrenia.

So stále zhusťujúcejšou sa premávkou ako na cestách, tak aj vo vzduchu, je dôležité, aby pilot i vodič vedeli včas zareagovať na akúkoľvek nečakanú zmenu premávky a vyhli sa tak nepríjemným situáciám, ktoré môžu často skončiť kolíziou. Pri podobnosti týchto situácií môžeme nájsť aj asistenčné systémy v lietadle a aute, ktoré majú podobnú funkciu. V lietadlách sme si predstavili systém TCAS, ktorý dáva pilotovi informácie o leteckej prevádzke a varuje ho pred možnou kolíziou s iným lietadlom. U automobilov sme si spomenuli jeden z nových a pokročilých protikolíznych systémov, systém varovania pred zrážkou s vozidlom FCWS. Na rozdiel od systému TCAS, ktorý prijíma informácie od okolitých lietadiel alebo zo zdrojov na zemi, je systém FCWS v automobiloch vybavený kamerou, ktorá spolupracuje so systémom GPS a vypočítava tak vzdialenosť medzi vozidlami. Oba systémy dnes už existujú tiež ako aktívne systémy, ktoré sú schopné nie len vodiča a pilota varovať, ale aj automaticky zabrániť kolízii.

Jedeným z rozdielov systémov v automobiloch a lietadlách je ten, že systémy v lietadle sú viac závislé na informáciách získavaných z vonkajších zdrojov. V automobile je takým systémom GPS, ktorý vodičovi poskytuje informáciu o polohe automobilu. V lietadle je to okrem systému GPS aj INS, systémy ako TCAS, TAWS a tiež systém monitorujúci počasie. Letecké systémy sú viac závislé na komunikácii a získavaní informácií z okolitých lietadiel a pozemných staníc. U lietadiel nájdeme viac antén a prijímačov, zatiaľ čo asistenčné systémy v automobile sú viac zamerné na získavanie informácií zo senzorov snímajúcich vnútorný stav vozidla a okolie vozidla.

Pri porovnaní leteckých systémov so systémami v automobile vidíme rozdiely najmä v závažnosti nehôd. Od toho sa odvíja aj to, za akým účelom sa vyvíjajú ďalšie systémy. V leteckom priemysle sa tieto systémy vyvíjajú pomalšie najmä kvôli prísnyim požiadavkám kladeným na ich bezpečnosť a spoľahlivosť. Cieľom leteckého priemyslu je zaručiť úplnú bezpečnosť na palube lietadla, pretože chyby v leteckej doprave majú omnoho katastrofálnejšie následky. V automobilovom priemysle ide okrem bezpečnosti v dnešnej dobe aj o komfort vodiča a spríjemnenie jazdy. Keď sa vyskytne porucha systému v aute, vodič môže bezpečne pokračovať v jazde, pretože asistenčné systémy nemajú pri poruche ovplyvniť riadenie vozidla. Aj pri závažných poruchách vozidla, ako je napríklad porucha motora, môže vodič bezpečne odstaviť vozidlo na kraj vozovky. U lietadiel je to ale náročnejšie. Lietadlá v súčasnosti využívajú viac autonómnych prvkov ako automobily, ale na to, aby nimi mohli byť lietadlá vybavené, musia tieto systémy prejsť prísnejšími kontrolami a certifikáciou. Aj keď výrobcovia lietadiel dosiahli vysokú úroveň bezpečnosti systémov, regulačné orgány vždy požadujú záložný systém. Systémy v lietadle bývajú preto zdvojené a oba systémy musia konať

nezávisle. Dokonca musia byť vytvorené dvoma rôznymi tímami. V letectve ide preto viac nákladov na zálohovanie systémov ako na samotný vývoj technológie.

Najmodernejšie asistenčné systémy v automobiloch dokážu monitorovať nie len únavu, ale aj zdravotný stav vodiča. Ak vodič nie je schopný zasiahnuť do riadenia, systém to rozpozná a automaticky odstaví vozidlo na bezpečné miesto. Takýto asistenčný systém v letectve ešte nenájdeme. Ak by došlo k zdravotným ťažkostiam pilota a nebol by schopný pilotáže, s veľkou pravdepodobnosťou by let skončil haváriou.

V oboch oblastiach je potrebné mať neustále na pamäti, že zodpovednosť za auto nesie stále vodič a za lietadlo pilot. Asistenčné systémy, ktoré sa dnes bežne používajú ešte stále vyžadujú prítomnosť pilota, resp. vodiča a jeho plné sústredenie na riadenie. Nedokážu úplne nahradiť človeka. Hoci si veľa ľudí myslí, že práca pilota nie je o nič zložitejšia ako práca vodiča, a že autopilot v lietadle vykonáva všetky potrebné úkony, nie je tomu tak. Nedá sa povedať, že by autopilot riadil lietadlo, ale že pilot riadi lietadlo aj prostredníctvom autopilota. Systémy, ktoré majú piloti a vodiči k dispozícii sú len tak inteligentné, ako ich užívatelia. Ak by bol v lietadle systém, ktorý je schopný urobiť dvadsať úkonov, ale pilot vie používať len dva, potom ten systém v skutočnosti koná len dva úkony. Preto je dôležité, aby ako pilot, tak aj vodič boli plne oboznámení s funkciami, ktoré tieto systémy poskytujú. Nato slúžia príručky, manuály a v prípade pilota aj prísny pilotný výcvik. Hoci stať sa vodičom je neporovnateľne jednoduchšie ako pilotom, aj vodič automobilu by si mal byť vedomý toho, ako fungujú systémy v jeho vozidle, kedy zasiahnu a čo mu chcú svojimi signálmi povedať. Ako sa vyvíjajú nové systémy, tak je potrebné sa aj v tejto oblasti stále vzdelávať, zvyšovať povedomie o týchto systémoch a vedieť vo vhodnom čase správne použiť jednotlivé systémy. Pri varovných a informačných systémoch je potrebné dobre vedieť, ktorý signál čo znamená, aby bolo možné predísť krízovej situácii s dostatočným predstihom. Podstatné pre pilota lietadla aj šoféra automobilu je uvedomiť si limity asistenčných systémov a byť si vedomý toho, do akej miery sa na ne dá spoľahnúť.

4 Budúcnosť asistenčných systémov

V tejto kapitole sa pozrieme na to, ako by sa mohli do budúcnosti vyvíjať systémy v lietadlách a ako k tomu môžu prispieť už existujúce systémy v automobiloch. Aj keď už teraz vývojári predstavujú technicky vyspelé asistenčné systémy v autách aj lietadlách, stále je pri riadení nutná prítomnosť a plné sústredenie vodiča v automobile a pilota v lietadle. Do budúcnosti však existujú rôzne koncepty autonómneho riadenia áut a lietadiel, ktoré si v tejto kapitole predstavíme.

4.1 Budúcnosť asistenčných systémov v leteectve

Pri porovnávaní asistenčných systémov sme zistili, že v súčasnosti sa v lietadlách GA nepoužívajú žiadne systémy monitorujúce pilota, a ak sa pilotovi počas letu niečo stane, lietadlo ostane neovládateľným. Tento problém by v budúcnosti mohli vyriešiť systémy monitorovania mentálnej záťaže pilota a systém automatického pristátia.

4.1.1 Monitorovanie mentálnej záťaže pilota

Riadenie lietadla je náročná činnosť, ktorá sa uskutočňuje v dynamickom a neistom prostredí. Pilot musí vykonávať množstvo úloh, ako kontrolovanie trajektórie lietadla, monitorovanie letových parametrov, komunikovanie s riadením letovej prevádzky, sledovanie poveternostných podmienok a polohy okolitých lietadiel, prípadne byť pripravený zmeniť letový plán. Toto všetko môže viesť k mentálnemu preťaženiu a únave pilota, čo môže mať závažné dôsledky na jeho vnímanie zvukových a vizuálnych podnetov a schopnosti vykonávať správne rozhodnutia. Experimenty vykonané v leteckých simulátoroch ukázali, že keď je vedomie pilota zapojené do náročných, mentálne zaťažujúcich úloh pilotovania, tak sa mu varovné zvukové signály nie vždy dostanú do povedomia. Tento fenomén sa nazýva tiež hluchota z nepozornosti (anglicky inattentional deafness). [34]

Jedno z riešení na zlepšenie bezpečnosti letu a zmiernenie výskytu ľudských chýb v leteectve, je implementovanie pasívneho rozhrania mozog-počítač pBCI (anglicky passive Brain Computer Interface), ktoré by slúžilo na nepretržité monitorovanie mentálnej záťaže pilota a dynamicky prispôbovalo interakcie medzi pilotom a kokpitom. [35]

Tento spôsob monitorovania pilota je založený na princípe elektroencefalografie (EEG). EEG monitoruje jednotlivé časti mozgu a dokáže tak vyhodnotiť sústredenie pilota a identifikovať stav, kedy je pilot mentálne preťažený alebo keď už dosiahol stav hluchoty z nepozornosti. Takýto systém by mohol na základe informácií o pilotovom mentálnom stave komunikovať s inteligentnými systémami v kokpite a prispôbovať ich audiovizuálne signály tak, aby sa pilotovi dokázali dostať do povedomia. [34] [35]

V roku 2019 sa uskutočnil experiment s desiatimi pilotmi, ktorí mali za úlohu pilotovať v náročných letových podmienkach, počas ktorých reagovali na zvukové alarmy stlačením tlačidla. Ukázalo sa, že pilotom uniklo vyše 36% zvukových alarmov. EEG pritom úspešne zaznamenalo vyše 60% prípadov, kedy sa u pilota objavila hluchota z nepozornosti. Tieto výsledky nám dávajú nádej na implementovanie neuroadaptívnych leteckých systémov, s cieľom zvýšiť intenzitu varovných signálov tak, aby boli pilotom vnímateľné a dokázal tak podniknúť patričné opatrenia. [34]

4.1.2 Systém automatického pristávania

Automatické pristávanie je bežnou súčasťou mnohých dopravných lietadiel. Nejedná sa ale o plne automatizované pristávanie. Riadiaca veža letiska ich totiž navádza pomocou rádiového signálu špeciálneho navigačného systému ILS (anglicky – Instrument Landing System). Týmto systémom ale nedisponujú malé letiská, a preto nie je možné využiť tento systém u lietadiel kategórie GA. [36]

Najnovší systém plne automatického pristávania, bez nutnosti asistencie pilota a pozemného riadenia letovej prevádzky, vyvinuli vedci z Technickej univerzity v Mníchove. Ide o systém, ktorý využíva informácie o polohe vďaka GPS signálom a dvojitej kamere namontovanej na lietadle. GPS navigácia je citlivá na nepresnosti, kvôli čomu musia piloti aj so súčasnými systémami prevziať kontrolu nad lietadlom vo výške minimálne 60 metrov nad zemou a pristáť s ním ručne. Doplnením systému GPS o dvojitú kameru je možné tieto nepresnosti eliminovať a dosiahnuť tak plne automatické pristátie. Tá v sebe zahŕňa kameru pre viditeľné spektrum, kombinovanú s infračervenou kamerou. Vďaka tomu sú systému poskytnuté presné údaje o polohe aj za podmienok zhoršenej viditeľnosti, napríklad v daždi alebo v hmle. Tento systém bol prvýkrát vyskúšaný koncom mája roku 2019. Išlo o prvé plne automatické pristátie. [36]

Vývoj systému automatického pristávania umožní pilotovi, ktorý nie je fyzicky schopný pristáť s lietadlom sám, sa jediným stlačením tlačidla bezpečne vrátiť na zem. Okrem toho má tento systém veľký význam pri vývoji autonómnych lietadiel, ktoré dnes vyvíjajú viaceré spoločnosti a pri automatizovaní nákladnej leteckej dopravy. [36]



Obr. 24 Systém automatického pristávania na upravenom lietadle Diamond DA42 [36]

4.2 Autonómne riadenie

Keď sa pozrieme na asistenčné systémy moderných áut a lietadiel, vidíme, že vývoj týchto systémov smeruje k autonómnemu riadeniu. V automobilovom priemysle sa o tom hovorí čoraz častejšie, robia sa výskumy a testujú sa prototypy autonómnych vozidiel. Automobilové a softvérové spoločnosti sa usilujú o vývoj potrebných technológií a sľubujú uvedenie produktov týkajúcich sa autonómnych vozidiel na trh už v blízkej budúcnosti. Vďaka tomuto vývoju vzniká aj nádej na cestovanie bez nehôd, kedy si len sadneme do auta a necháme sa bezstarostne viesť. Aj starší ľudia a ľudia so zdravotným postihnutím by boli schopní nezávislej mobility. To ale nie sú jediné dôvody na vývoj autonómnych vozidiel. Z dlhodobého hľadiska by autonómne vozidlá prispeli aj k efektívnejšiemu využitiu pohonných hmôt, zníženiu emisií a prostredníctvom vzájomnej komunikácie by sa mohli vyhnúť dopravným zápcham a zoptimalizovať tak mestskú dopravu. V leteckom priemysle sa o autonómnych lietadlách nehovorí tak často, ako je tomu pri autách, ale aj v tomto odvetví sú firmy, ktoré sa zaoberajú myšlienkou verejnej, bezpilotnej, leteckej dopravy a vznikajú koncepty, ako je napríklad mestská letecká doprava (angl. Urban Air Mobility) a letecké taxíky.

4.2.1 Autonómne vozidlá

Pod pojmom autonómne vozidlo si môžeme predstaviť vozidlo, ktoré nie je riadené človekom. Autonómne vozidlá možno charakterizovať aj ako komplexné sofistikované systémy kombinujúce hardwarové komponenty a softwarové vybavenie, pričom ich schopnosť autonómnej prevádzky je výsledkom vzájomného prepojenia rozličných senzorov, softwaru a učiacich sa algoritmov schopných tieto údaje vyhodnotiť, rozpoznať vonkajšie podmienky (lokalitu, plynulosť premávky, kvalitu infraštruktúry apod.) a podľa toho prispôbiť chod vozidla za účelom dosiahnutia stanoveného cieľa [37]. Cieľom autonómneho vozidla je transport ľudí, tovaru alebo vozidla samotného.

Profesné združenie SAE (Society of Automotive Engineers) definuje šesť rozličných úrovní automatizácie vozidiel. [2],[38]

- Úroveň 0 (žiadna automatizácia) – človek plne ovláda vozidlo a asistenčné systémy vo vozidle majú len varovnú a informačnú funkciu.
- Úroveň 1 (podpora vodiča) – vozidlo je vybavené asistenčnými systémami, ktoré vodičovi pomáhajú iba v niektorých jazdných režimoch, ovládaním smeru alebo rýchlosti vozidla, pričom je vodič vždy pripravený zasiahnuť do riadenia.
- Úroveň 2 (čiastočná automatizácia) – asistenčné systémy zvládajú súčasne riadiť smer aj rýchlosť vozidla, ale stále sa počíta s častými zásahmi vodiča do automatického riadenia.
- Úroveň 3 (podmienená automatizácia) – vozidlo dokáže samo zvládnuť situácie vyžadujúce okamžitú reakciu a vodič môže po určitú dobu odvrátiť pozornosť od riadenia. Prvým vozidlom tejto kategórie sa stalo Audi A8 v roku 2017, ktoré má systém asistenta jazdy v dopravnej zápchke. Jeho použitie je ale podmienené rýchlosťou do 60 km/h a na diaľnici s pevnou zábranou medzi protismernými pruhmi.
- Úroveň 4 (vysoká automatizácia) – vozidlo zvláda automatickú jazdu v širšom rozsahu prostredia a zásah človeka do riadenia je len v mimoriadnych situáciách, ako napríklad zlé počasie, kedy by bolo lepšie, aby kontrolu nad vozidlom prevzal človek.

- Úroveň 5 (úplná automatizácia) – plne autonómne vozidlo bez nutnosti zásahu človeka do riadenia.



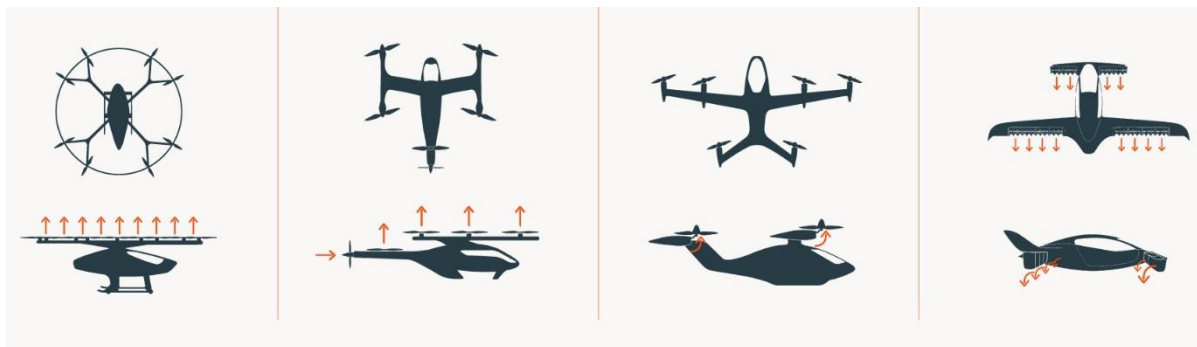
Obr. 25 Autonómne vozidlo budúcnosti [38]

Autonómne vozidlá sú určite veľkým skokom v mobilite. Aj keď technológia na vytvorenie autonómneho vozidla je už v pokročilom štádiu vývoja, a existuje viacero prototypov takýchto vozidiel, stále je mnoho otázok a problémov, ktoré pri nástupe autonómnych vozidiel treba riešiť. Z technického hľadiska je potrebné zaobstarať komunikáciu a kooperáciu medzi jednotlivými vozidlami a medzi človekom a vozidlom. Z právneho hľadiska zas vznikajú otázky, kto bude brať zodpovednosť za škodu vzniknutú pri nehode autonómneho vozidla. A v neposlednom rade ide aj o to, ako budú ľudia k takejto technológii pristupovať a či jej budú dôverovať. V eufórii z narastajúcej automatizácie vozidiel by sa nemalo zabúdať, že pozornosť je zameraná v prvom rade na ľudí a ich potrebu individuálnej mobility. Autonómne vozidlo, ktoré jazdí plynule, podľa pravidiel cestnej premávky a bez kolízií, ale ktorého pasažieri nedôverujú technickému systému a nedokážu si tak vychutnať komfortnú jazdu, by spoločnosť pravdepodobne neprijala.

4.2.2 Urban air mobility UAM

Mestská letecká doprava UAM je koncept leteckej dopravy, ktorý predpokladá bezpečný, efektívny a ekologický dopravný systém využívajúci vysoko automatizované lietadlá, ktoré budú transportovať ľudí alebo tovar v nízkych nadmorských výškach, v mestských a prímestských oblastiach. Zavedením takéhoto spôsobu dopravy by mohlo dôjsť k výraznému úrychleniu prepravy tovaru aj osôb v mestských oblastiach, kde je značne preťažená cestná doprava. Mnoho firiem už investovalo do tohto nového konceptu a pracuje na návrhu infraštruktúry a autonómnych lietadiel.

Autonómne lietadlá v tejto doprave sa nazývajú eVTOL (anglicky electric-powered Vertical Take-Off and Landing.). Ide o lietadlá schopné vzlietnuť aj pristáť vertikálne. Nahrádzujú helikoptéry a vďaka elektrickým motorom sú výrazne tichšie a neprodukujú žiadne emisie. Existuje viacero druhov a konštrukcií lietadiel eVTOL (obr.26).



Obr. 26 Rôzne prevedenia lietadiel eVTOL so znázornením smeru vztlakovej sily [39]

Vytvorenie autonómneho lietadla, schopného vertikálneho vzletu aj pristátia vyžaduje implementovanie najnovších technológií z rôznych oblastí. Okrem množstva systémov potrebných na orientovanie sa lietadla v priestore, detekovaniu a vyhýbaní sa prekážkam, komunikácii s okolitými lietadlami a so systémami na zemi je tu aj veľký pokrok v elektrifikácii lietadiel.

Asistenčné systémy vytvárajú do budúcnosti cestu k autonómnej doprave či už na zemi alebo vo vzduchu. Aj v tomto prípade je motiváciou najmä bezpečnosť a redukcia dopravných nehôd spôsobených predovšetkým ľudským pričinením. Ďalšími dôvodmi na vytvorenie inteligentných, autonómnych vozidiel s použitím umelej inteligencie sú ekologické a ekonomické dôvody a v mestských oblastiach hlavne zkrátenie doby cestovania. Čoraz viac obyvateľov sa sťahuje do veľkých miest, ktoré však na takúto urbanizáciu nie sú pripravené. Predpokladá sa, že do roku 2050 bude v mestských oblastiach žiť viac ako dve tretiny celkovej populácie.[40] Prudkým nárastom obyvateľov v mestách vznikajú preplnené ulice áut a ľudia tak strácajú veľa času v dopravných zápchach. Preto je potrebné, aby mestá hľadali nové riešenia mestskej dopravy, ktoré ju nie len urýchlia, ale tiež spravia bezpečnejšou a ekologickou. Kvôli preplneným uliciam a metrákam sa naskytuje jediná možnosť ako tento problém vyriešiť, a to prostredníctvom mestskej leteckej dopravy. Tento koncept dopravy je teda viac než potrebný. Je mnoho firiem, ktoré spolupracujú na jeho zrealizovaní od dizajnu a výroby autonómnych lietadiel, až po dopravný manažment, pozemnú infraštruktúru a používateľské rozhranie, cez ktoré si pasažier objedná let.



Obr. 27 UAM a eVTOL lietadlo [41]

Záver

Vďaka asistenčným systémom s modernými senzormi a riadiacimi jednotkami sa bezpečnosť leteckej a automobilovej dopravy posunula na novú úroveň. Tam, kde už ľudské schopnosti a zmysly končia, nastupujú moderné technológie. Nejde už len o zníženie závažnosti nehôd, ale prostredníctvom asistenčných systémov je možné krízové situácie predvídať a včas sa im vyhnúť. Okrem zvýšenia bezpečnosti poskytujú asistenčné systémy aj komfort pri riadení auta, či pilotovaní lietadla a znižujú precovné zaťaženie vodiča, resp. pilota.

V tejto práci sme si predstavili asistenčné systémy v automobiloch a lietadlách, popísali sme si, ako fungujú a aké sú ich limity. Okrem asistenčných systémov ako prvkov aktívnej bezpečnosti, sme spomenuli aj prvky pasívnej bezpečnosti, ktoré prispievajú k ochrane života a zdravia v situáciách, kedy už nie je možné zabrániť nehode.

Následne sme si tieto systémy porovnali, vďaka čomu sme zistili, že lietadlá nedisponujú systémami, ktoré monitorujú stav pilota počas letu. V automobiloch existujú už systémy schopné monitorovať únavu vodiča, alebo aj jeho zdravotný stav. Niektoré systémy v automobile sú na základe nečinnosti vodiča schopné bezpečne odstaviť vozidlo na kraj vozovky. Napriek tomu, že pracovná záťaž pilota je podstatne väčšia ako záťaž vodiča, systém na monitorovanie únavy a mentálnej záťaže pilota zatiaľ v lietadlách nenájdeme. Takisto, ak pilota počas letu postihnú zdravotné komplikácie a nie je fyzicky schopný s lietadlom pristáť, nemá v lietadle k dispozícii asistenčný systém, ktorý by ho bezpečne priviedol na zem.

Pri predikcii vývoja asisitenčných systémov lietadiel sa môžeme inšpirovať systémami sledujúcimi únavu vodiča v automobile a systémami, ktoré sú schopné vozidlo bezpečne odstaviť na kraj cesty. Práca pilota so sebou nesie veľkú mentálnu záťaž, čo obnáša únavu a nepozornosť pilota aj na varovné signály. Vďaka systému monitorovania mentálnej záťaže pilota by do budúcnosti bolo možné navrhnúť inteligentný kokpit, ktorý by prispôbil varovné signály pilotovi tak, aby ich vzal na vedomie aj v prípade, keď by došlo k hluchote z nepozornosti. Systém automatického pristátia by zas mohol v budúcnosti pomôcť pilotom bezpečne pristáť, aj keby toho piloti neboli fyzicky schopný.

Systém automatického pristávania so sebou prináša aj ďalší posun v autonómnej doprave. Stále viac sa v médiách spomínajú koncepty autonómnych vozidiel, ktoré by mali nahradiť konvenčnú automobilovú dopravu. Množstvo firiem vyvíja systémy založené na umelej inteligencii, schopné úplne prevziať kontrolu nad vozidlom a testujú prototypy autonómnych vozidiel. Okrem technologického pokroku spojeného s autonómnymi vozidlami je ale potrebné brať do úvahy aj právny aspekt. Momentálne neexistujú právne predpisy a ustanovenia, ktoré by jasne uvádzali, kto by bol zodpovedný za škody spôsobené pri nehode autonómneho vozidla.

Z leteckej dopravy sme spomenuli koncept UAM, ktorý by mal byť riešením na preplnenú mestskú dopravu. Autonómne lietadlá, nazývané eVTOL, by mali nahradiť helikoptéry a poskytnúť bezpečnú, tichú a ekologickú prepravu ľudí a tovaru v mestských a prímestských oblastiach. Tento koncept dopravy je mnohými firmami považovaný za jediné riešenie dopravnej krízy, ktorá vzniká prudko narastajúcou urbanizáciou.

Aj napriek často spomínaným konceptom autonómnej dopravy je dôležité mať na rozume, že stále je za riadenie zodpovedný človek a to, do akej miery je oboznámený s funkciami a limitmi asistenčných systémov ovplyvňuje aj ich skutočný prínos do bezpečnosti dopravy.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] MAREŠ, Albert. Aktivne a pasívne prvky bezpečnosti automobilov. *Transfer inovácií* [online]. 2003, 193-194 [cit. 2021-5-16]. ISSN 1337-7094. Dostupné z: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/6-2003/pdf/193-194.pdf>
- [2] KUKKALA, Vipin Kumar, Jordan TUNNELL, Sudeep PASRICHA a Thomas BRADLEY. Advanced Driver-Assistance Systems: A Path Toward Autonomous Vehicles. *IEEE Consumer Electronics Magazine* [online]. IEEE, 2018, 7(5), 18-25 [cit. 2021-02-15]. ISSN 2162-2248. Dostupné z: doi:10.1109/MCE.2018.2828440
- [3] WINNER, Hermann, Stephan HAKULI, Felix LOTZ a Christina SINGER. *Handbook of Driver Assistance Systems: Basic Information, Components and Systems for Active Safety and Comfort* [online]. Springer International Publishing, 2015 [cit. 2021-2-15]. ISBN 978-3-319-12352-3. Dostupné z: DOI 10.1007/978-3-319-12352-3
- [4] BENGLER, Klaus, Klaus DIETMAYER, Berthold FARBER, Markus MAURER, Christoph STILLER a Hermann WINNER. Three Decades of Driver Assistance Systems: Review and Future Perspectives. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine* [online]. IEEE, 2014, 6(4), 6-22 [cit. 2021-02-15]. ISSN 1939-1390. Dostupné z: doi:10.1109/MITS.2014.2336271
- [5] MAXIM, Vladislav, Jozef KOVÁČ a Ľuboš KUDLÁČ. Systém ABS (Antilock Brake System) v motorových vozidlách. *Transfer inovácií* [online]. 2005, 162-165 [cit. 2021-5-16]. ISSN 1337-7094. Dostupné z: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/8-2005/pdf/162-165.pdf>
- [6] Protiblokovací systém ABS v automobile [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/ca361project/traction-control>
- [7] WABCO: *Anti-Lock Braking System (ABS) and Anti-Slip Regulation (ASR)* [online]. 2011 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <http://inform.wabco-auto.com/intl/pdf/815/01/94/8150101943.pdf>
- [8] SAJDL, Jan. *ASR (Antriebsschlupfregelung)*. *Autolexikon: náskok díky vědomostem* [online]. 2013 [cit. 2021-02-28]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/asr-antriebsschlupfregelung/>
- [9] VLK, František. *Automobilová elektronika 1: Asistenční a informační systémy*. Brno: František Vlk, 2006, 269 s. ISBN 80-239-6462-3.
- [10] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. *Automobily (1) - podvozky*. 4. vydání. Brno: Avid spol. s r.o, 2012, 245 s. ISBN 978-80-87143-24-7.
- [11] SAJDL, Jan. *ESP (Electronic Stability Programme)*. *Autolexikon: náskok díky vědomostem* [online]. 2013 [cit. 2021-03-01]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/esp-electronic-stability-programme/>
- [12] 25 rokov ESP od spoločnosti Bosch: Už žiadny ďalší šmyk. In: *Tlačové fórum Bosch* [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.bosch-press.cz/pressportal/cz/sk/press-release-34063.html>
- [13] Na letisko v Stuttgarte prichádza plne automatické parkovanie bez vodiča. In: *Tlačové fórum Bosch* [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.bosch-press.cz/pressportal/cz/sk/press-release-36288.html>

- [14] Lane departure warning. In: *Bosch Mobility Solutions* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/lane-departure-warning/>
- [15] Global Positioning System (GPS) [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.carrentalgateway.com/glossary/gps/>
- [16] Navigačný systém v automobilke VW [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.vw.sk/sharan/radio-a-navigacia>
- [17] HUD v automobile [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.nextech.sk/a/Asistencne-systemy-vozidiel---1-cast>
- [18] IGWACHO, Anye. *Summary Report of Forward Collision Warning System (FCWS)* [online]. 2021 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.32795.18722
- [19] GARMIN. *Systém varovania pred zrážkou s vozidlom vpredu* [online]. 2020 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www8.garmin.com/manuals/webhelp/dezlcam785/SK-SK/GUID-A87A3E0F-DA42-4860-8CB6-B71A30B05A53.html>
- [20] LEE, John D, Daniel V MCGEHEE, Timothy L BROWN a Michelle L REYES. Collision Warning Timing, Driver Distraction, and Driver Response to Imminent Rear-End Collisions in a High-Fidelity Driving Simulator. *Human factors* [online]. Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2002, 44(2), 314-334 [cit. 2021-5-18]. ISSN 0018-7208. Dostupné z: doi:10.1518/0018720024497844
- [21] Advanced Driver Assistance System. *Star-shine* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://www.stars-shine.com/productinfo.asp?id=2456>
- [22] Kapitola I. Lidský činitel v letecké dopravě (část 1) [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <http://projekt150.havel.cz/node/117>
- [23] MUNK, T. Postupy při řešení porúch lietadlových sústav za letu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 56 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Karel Třetina, CSc.
- [24] DLUHOŠ, J. Vliv lidského činitele na nehodovost malých letadel. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 90 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Chlebek, Ph.D.
- [25] ŠAMAN, Vojtěch. 30 let firmy Galaxy. *Galaxy GRS* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.galaxysky.cz/firma-s18-cz>
- [26] CLAIBORNE, Matt. *General Aviation – Meaning, Types, Importance*. *AeroCorner* [online]. [cit. 2021-4-5]. Dostupné z: <https://aerocorner.com/blog/general-aviation/>
- [27] DEKA, Lipika a Mashrur A. CHOWDHURY. *Transportation cyber-physical systems*. Amsterdam: Elsevier, [2018]. ISBN 978-0-12-814295-0.
- [28] NÉMETH, Štefan. *Adaptivní letecký autopilot* [online]. Brno, 2017 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/ces6l/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky. Vedoucí práce Roman STOKLASA.

- [29] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Advanced Avionics Handbook [online]. Aviation Supplies & Academics, 2009. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/advanced_avionics_handbook/media/FAA-H-8083-6.pdf
- [30] TOOLEY, Mike a David WYATT. *Aircraft Electrical and Electronic Systems: Principles, operation and maintenance*. Oxford UK: Elsevier, 2009. ISBN 978-0-7506-8695-2.
- [31] GARMIN. General Aviation Solutions. *Garmin.com* [online]. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.garmin.com/en-US/c/aviation/general-aviation/>
- [32] ŠÍROVÁ, Tereza. *Letecké katastrofy: Nové řízení letového provozu "osvobodí letadla"* [online]. 2011 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/technika/letecke-katastrofy-nove-rizeni-letoveho-provozu-osvobodí-letadla.A111021_175325_tec_technika_pka
- [33] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Airplane Flying Handbook [online]. Aviation Supplies & Academics, 2016. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/airplane_handbook/media/airplane_flying_handbook.pdf
- [34] F. Dehais, I. Rida, R. N. Roy, J. Iversen, T. Mullen and D. Callan. A pBCI to Predict Attentional Error Before it Happens in Real Flight Conditions [online]. *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, 2019, 4155-4160 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: doi: 10.1109/SMC.2019.8914010
- [35] DEHAIS, F. et al. Monitoring Pilot's Mental Workload Using ERPs and Spectral Power with a Six-Dry-Electrode EEG System in Real Flight Conditions. In *Sensors* [online]. 2019. Vol. 19, no. 6, s. 1324. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.3390/s19061324>.
- [36] PROCHÁZKA, Juraj. Lietadlá budú pristávať automaticky aj na malých letiskách. In: *Techbox* [online]. [cit. 2021-5-18]. ISBN 1338-1210. Dostupné z: <https://techbox.dennikn.sk/lietadla-budu-pristavat-automaticky-aj-na-malych-letiskach/>
- [37] KRIŽAN, Martin. Autonómne vozidlá: otázka zodpovednosti. *Acta Facultatis Iuridicae Universitatis Comenianae* [online]. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, 2020, 39(2), 136-154 [cit. 2021-5-7]. ISSN 1336-6912. Dostupné z: <https://afi.flaw.uniba.sk/index.php/AFI/article/view/63/56>
- [38] SAJDL, Jan. *Autonómne riadenie. Autolexikon: náskok díky vědomostem* [online]. 2013 [cit. 2021-05-10]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <https://www.autolexikon.net/sk/articles/autonomni-rizeni/>
- [39] LILIUM. What it takes to design an aircraft from scratch. *Lilium.com* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://lilium.com/newsroom-detail/lilium-architecture-design-principles>
- [40] RITCHIE, Hannah a Max ROSER. Urbanization. *Our World in Data* [online]. 2018 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/urbanization>

[41] ALCOCK, Charles. Embraer Launches Urban Air Mobility Division Called Eve. *Ainonline* [online]. 2020 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2020-10-15/embraer-launches-urban-air-mobility-division-called-eve>

Zoznam použitých skratiek a symbolov

ABS	Anti-lock Braking System	Protiblokovací systém
ACC	Adaptive Cruise Control	Adaptívny tempomat
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance Broadcast	Automatické závislé sledovanie-vysielanie
AFCS	Automatic Flight Control System	Systém automatického riadenia letu (autopilot)
ASR	Anti-Slip Regulation	Regulácia preklzovania
AVP	Automated Valet Parking	Automatické parkovanie bez prítomnosti vodiča v aute
BAS	Brake Assistant System	Brzdový asistenčný systém
CFID	Controlled Flight Into Terrain	Riadený let do terénu
DAS	Driver Assistance Systems	Asistenčné systémy vodiča
EEG	Electroencephalography	Elektroencefalografia
ESP	Electronic Stability Program	Elektronický stabilizačný systém
EU	European Union	Európska únia
eVTOL	electric-powered Vertical Take-Off and Landing	Elektricky poháňané lietadlo schopné vertikálneho vzletu a pristátia
FCWS	Forward Collision Warning System	Systém varovanie pred zrážkou
FLTA	Forward Looking Terrain Avoidance	Systém varovania o teréne pred lietadlom
GA	General Aviation	Všeobecné letectvo
GPS	Global Positioning System	Globálny systém určovania polohy
GPWS	Ground Proximity Warning System	Varovný systém blízkosti zeme
HUD	Head-Up Display	Prieľadný displej v zornom poli
ILS	Instrument Landing System	Systém prístrojového priblíženia
INS	Inertial Navigation System	Inerciálny navigačný systém
LDW	Lane Departure Warning	Varovanie pred vybočením z jazdného pruhu
LKA	Lane Keeping Assistance	Asistent udržiavania v jazdnom pruhu
PAS	Parking Assistant System	Systém parkovacieho asistenta
PBA	Predictive Brake Assistance	Prediktívny brzdový asistent
pBCI	passive Brain Computer Interface	Pasívne rozhranie prepojujúce mozog s počítačom
SAE	Society of Automotive Engineers	Spoločnosť automobilových inžinierov

TAWS	Terrain Awareness and Warning System	Systém varovania pred blízkosťou terénu
TCAS	Traffic Collision Avoidance System	Systém zabránenia kolízií počas letovej premávky
UAM	Urban Air Mobility	Mestská letecká doprava